

**Estudios del comportamiento fisiológico de la semilla del maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener), la granadilla (*P. ligularis* Juss.) y la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims) y zonificación agroecológica como estrategia para una Agricultura *Eco-eficiente* y de conservación**



**Paula Andrea Posada Quintero, I. Amb.**

Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de:  
Magister en Ciencias Biológicas  
Recursos Fitogenéticos Neotropicales

**Director**

**John Ocampo Pérez, I.A., M.Sc., Ph.D.**  
Universidad Nacional de Colombia sede Palmira  
Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT

**Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira  
Escuela de posgrados  
Palmira 2012**



**Dr. Carlos Iván Cardozo**  
**Dr. Jacob van Etten**  
**Dr. Daniel Debouck**

Universidad Nacional de Colombia sede Palmira  
Biodiversity International, Regional office for the Americas  
Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT

Jurado  
Jurado  
Revisor

**Estudios del comportamiento fisiológico de la semilla del maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener), la granadilla (*P. ligularis* Juss.) y la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims) y zonificación agroecológica como estrategia para una Agricultura *Eco-eficiente* y de conservación**

**Por**

**Paula Andrea Posada Quintero, I. Amb.**

**Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira  
Escuela de posgrados  
Maestría en Ciencias Biológicas  
Recursos Fitogenéticos Neotropicales  
Palmira 2012**





UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE PALMIRA

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ACTA DE JURADO DE TESIS**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS  
LINEA DE INVESTIGACIÓN  
RECURSOS FITOGENÉTICOS NEOTROPICALES**

En Palmira a los días del mes de Diciembre 04 de 2012, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador de Tesis, integrado por los doctores JACOB VAN ETTEN y CARLOS IVÁN CARDOZO

Para calificar la Tesis de Grado de:

**PAULA ANDREA POSADA QUINTERO**

Titulada:

"ESTUDIOS DEL COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DE LA SEMILLA Y ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA DEL MARACUYÁ (*P. EDULIS F. FLAVICARPA DEGENER*), LA GRANADILLA (*P. LIGULARIS JUSS.*) Y LA GULUPA (*P. EDULIS F. SIMS*) COMO ESTRATEGIA PARA UNA AGRICULTURA ECO-EFICIENTE", bajo la dirección de John Ocampo, Ph.D.

Después de oír el informe del jurado evaluador compuesto por los doctores JACOB VAN ETTEN y CARLOS IVÁN CARDOZO, y de haber cumplido con el proceso de evaluación, la tesis fue calificada como:

APROBADO ☒

REPROBADO ☐

  
\_\_\_\_\_  
JACOB VAN ETTEN

  
\_\_\_\_\_  
CARLOS IVÁN CARDOZO

La facultad y los jurados de tesis no se  
harán responsables de las ideas  
emitidas por el autor.

Articulo 24, resolución 04 de 1974

## ***Dedicatoria***

*A Dios todopoderoso y la virgen por darme la salud, la fortaleza y la sabiduría para culminar este gran logro en mi vida.*

*A mi mamá Margarita por haberme dado la vida, por ser padre y madre, porque siempre ha estado a mi lado, con todo su cariño y dedicación apoyándome y motivándome para alcanzar mis metas.*

*A mi mamita que aunque ya no esté en este mundo, donde sea que esté, sé que aún me cuida con su amor incondicional.*

## AGRADECIMIENTOS

A mi corazón (Anthony) por brindarme todo su amor, motivarme y además por ayudarme en las correcciones, por enseñarme a creer en mí, por aguantarme y sobre todo por permitirme formar parte de su vida.

A mi familia, mi hermano (Omar) por siempre entender el esfuerzo que he hecho y preocuparse por mí, mi tía (Amanda) por haberme apoyado para poder seguir estudiando, mis tíos (Edgar y Diego) y primos (Luz Angela y Michael) por siempre darme todo su cariño y apoyo.

Mi director de tesis el “profe”, Dr. John Ocampo por su infinita paciencia conmigo, por convertirse en más que en mi maestro, porque lo considero como un tío, el que siempre estuvo dispuesto a ayudarme en la tesis pero también a darme consejos, crecí mucho tanto de forma intelectual, profesional como personal.

A mis compañeros de la U por compartir tan gratos momentos en las clases y las mismas angustias a la hora de estudiar además de ayudarnos mutuamente Yuri, Angélica, Jorge, Aida, Javier, Martha, Fercho, jamás los olvidaré.

A mis compañeras del grupo del almuerzo Mafe, Elcy, Eliza, Moni, Angela Xime, y Don Enrique, por siempre apoyarme estar pendiente de como iba en mi tesis, también por compartir tanto alegrías como preocupaciones, pero sobretodo por brindarme esa bonita amistad.

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por financiar el proyecto, a la doctora Marlene Ramirez y al Doctor Daniel Debouck por apoyarme y permitirme ingresar a sus instalaciones para realizar la investigación.

A los compañeros de Recursos Genéticos, Don Hernán y Fanny por siempre estar prestos a ayudarme para que mis semillitas no se fueran a morir y por esas mañanas con café, empanadas, arepa y jocosa tertulia; a Luis Guillermo por su paciencia, su apoyo y por guiarme en mi investigación, a los compañeros de conservación y empaque, Dianita, Rocío, Alex, Glorita, Mercedes, Jaque y demás por siempre estar dispuestos a colaborar en mi investigación, y por estas divertidas tardes de amenas conversaciones.

A los compañeros de Bioversity, Dimary, Karen, Vicky, Adriana, Jesús, Matías, Margarita, Tito, Gea, Dr. Scheldeman y Maarten por siempre tener una actitud amable para colaborar en lo que necesitaba, de igual forma los compañeros de DAPA July, Alejo, Emanuel, Jefferson y Natalia por ayudarme con todas las dudas y dificultades que siempre tenía con los mapas.



## RESUMEN

El maracuyá, la granadilla y la gulupa son las principales especies de *Passiflora* L. por su importancia económica, ya que sus frutos son comercializados tanto a nivel nacional e internacional como fruta fresca y procesada. Estas especies son cultivadas en aproximadamente 11.000 has y generan cerca de 210 jornales rurales/ha/año. A pesar de este potencial, no existe información sobre el comportamiento fisiológico de la semilla para su conservación y estudios sobre la zonificación agroecológica que permita a los productores tomar decisiones acertadas para preservar los mejores genotipos y para el establecimiento de los cultivos en zonas óptimas con mejores rendimientos y calidad del fruto. El objetivo de esta investigación es aplicar protocolos para la conservación *ex situ* de las semillas mediante la evaluación de los procesos germinativos, y establecer las mejores zonas agroecológicas para el desarrollo óptimo de los cultivos para el presente y futuro (año 2050s) por medio de información primaria y modelación con SIG. El estudio del comportamiento fisiológico se desarrolló durante los años 2009 a 2011 con semillas de diferentes accesiones colectadas en Colombia y bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro a cinco tratamientos (tres repeticiones), siguiendo el protocolo de Hong & Ellis (1996). Los resultados muestran que las semillas conservadas en refrigeración (bolsas de aluminio, 4-6°C) durante 1, 3, 6, y 24 meses, obtuvieron una germinación promedio para el maracuyá del 91%, en la granadilla 63% y para la gulupa 77%. Por otro lado, cuando fueron sometidas a secado con el flujo continuo de aire y posteriormente al almacenamiento en condiciones bajo cero (-20°C) las semillas mantienen los porcentajes óptimos de germinación (>80%). Para el estudio de zonificación se visitaron 115 cultivos en 15 departamentos, los cuales fueron georeferenciados y caracterizados (manejo agronómico y calidad del fruto). El análisis de datos se realizó con la ayuda de los modelos de nicho ecológico Ecocrop, Bioclim (Diva-GIS) y Maxent, de acuerdo a la ecofisiología del cultivo. El mejor modelo fue seleccionado con el parámetro de ROC (0,71, especificidad/sensibilidad), las variables escogidas de Bioclim (temperaturas y precipitaciones), la no presencia en las áreas naturales protegidas y bajo los criterios de expertos verificados en campo y en Google Earth®. El modelo generado con Maxent identificó tres zonas de probabilidad de éxito para el establecimiento de los cultivos ( $Z_1$ : 40–60%,  $Z_2$ : 61–80% y  $Z_3$ : >80%) y con mayor probabilidad en la zona andina cubriendo un total de 3'728.600 has (300 a 1.300 m.s.n.m.) para el maracuyá, 2'259.300 has (1.500 a 2.700 m) para la granadilla y un área 3'321.100 has (1.500 a 3.100 m) para la gulupa. El efecto del cambio climático causará una pérdida drástica entre un 39,5% a 74,8% para las tres especies, pero a su vez aparecen nuevas zonas en altitudes superiores. La vulnerabilidad del cultivo frente al cambio climático dependerá de la capacidad de adaptación de acuerdo a la plasticidad genética de la especie (ecofisiología, genotipo x ambiente) y de las nuevas prácticas agronómicas respecto a la variabilidad climática y la disposición de los recursos naturales y socioeconómicos de cada zona. Finalmente, los resultados recomiendan a los productores conservar las semillas en condiciones de refrigeración (4 a 6°C), por un tiempo no superior a 12 meses para la granadilla y gulupa, y 24 para el maracuyá, ya que la germinación y el vigor no se ven afectados. Adicionalmente, la zonificación generada permitirá a las cadenas productoras tomar mejores decisiones para el establecimiento del cultivo y mitigar las pérdidas económicas en el futuro.

**Palabras clave:** *Passiflora*, fruta, Colombia, conservación, semilla, germinación, SIG, zonificación.

## ABSTRACT

The yellow passion fruit, sweet passion fruit and purple passion fruit are the main species of *Passiflora* L. its economic importance because its fruits are marketed both domestically and internationally as fresh fruit and processed. These species are cultivated in about 11,000 hectares and generate about 210 rural wages/ha/year. Despite this potential, there is no information on the physiological behavior of the seed for conservation and agro-ecological zoning studies that allow producers to make right decisions to preserve the best genotypes and to establish crops in optimal areas with better yields and fruit quality. The objective of this research is to implement protocols for the *ex situ* conservation of seeds by germinating process evaluation, and establish best agroecological zones for optimal crop development for the present and future (year 2050s) through information primary and modeling with GIS. The study of the physiological behavior was developed during the years 2009 to 2011 with different seed accessions collected in Colombia and under design a completely randomized with four to five treatments (three replicates), following the protocol of Hong & Ellis (1996). The results show that seed saved cooling (foil bags, 4-6°C) for 1, 3, 6, and 24 months, obtained an average germination of 91% passion fruit, sweet passion fruit in 63% and for purple passion fruit 77%. On the other hand, when they were subjected to drying with continuous air flow and then to storage in freezing conditions (-20°C) seeds maintain optimum germination percentages (>80%). For the study of zoning visited 115 crops in 15 departments, which were georeferenced and characterized (agronomic and fruit quality). Data analysis was performed with the help of ecological niche models Ecocrop, Bioclim (Diva-GIS) and Maxent, according to the crop ecophysiology. The best model was selected with the parameter of ROC (0.71, specificity/sensitivity) of Bioclim selected variables (temperature and precipitation), the non-presence in the protected areas and under the criteria of experts in the field and verified Google Earth ©. The model generated with Maxent identified three areas of probability of success for crop establishment ( $Z_1$ : 40-60%,  $Z_2$ : 61-80% and  $Z_3$ : >80%) and high probability in the Andean zone covering a total of 3'728.600 hectares (300-1300 m) for yellow passion fruit, 2'259.300 hectares (1500-2700 m) for sweet passion fruit and an area of 3'321.100 hectares (1500-3100 m) for purple passion fruit. The effect of climate change will cause a drastic loss between 39.5% to 74.8% for the three species, but in turn there are new areas at higher altitudes. The growing vulnerability to climate change will depend on the ability to adapt according to the genetic plasticity of the species (ecophysiology, genotype x environment) and new agronomic practices regarding climate variability and disposition of natural resources and socio-economic each zone. Finally, the results recommend to save seed producers under refrigeration (4-6°C) for a period not exceeding 12 months for sweet passion fruit and purple passion fruit, and 24 for the passion, as germination and vigor unaffected. Additionally, zoning generated chains allow producers make better decisions for crop establishment and mitigate economic losses in the future.

**Key words:** *Passiflora*, fruit, Colombia, conservation, seed, germination, SIG, zonification.



## OBJETIVOS

### General

Determinar el comportamiento de la semilla en el almacenamiento y definir las zonas agroecológicas para los cultivos del maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener) la granadilla (*P. ligularis* Juss.) y la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims) para mejorar los sistemas de producción en Colombia.

### Específicos

- Establecer el tipo de semilla mediante la evaluación del comportamiento fisiológico.
- Aplicar protocolos y estrategias para la conservación *ex situ* de las semillas.
- Desarrollar mapas de distribución potencial con el uso de SIG con base en modelos climáticos y parámetros de calidad de fruto.
- Seleccionar el modelo que defina las mejores zonas agroecológicas para los cultivos en Colombia.
- Determinar el efecto del cambio climático el año 2050 de los cultivos en Colombia según los modelos de predicción climática.

## JUSTIFICACIÓN

Todo agricultor espera al iniciar una actividad productiva obtener buenos rendimientos y calidad en su cosecha, pero para lograr esto es necesario que cuente con tecnologías que le permita realizar su labor lo mejor posible. En Colombia los productores de maracuyá, granadilla y gulupa, no cuentan con material vegetal (semillas) de buena calidad que les brinde las mejores características agronómicas por la ausencia de programas de mejoramiento genético y conservación del germoplasma. Por otro lado, no cuentan con una definición de la zonificación agroecológica más apta como guía para la mejor ubicación de sus cultivos con el fin de lograr el desarrollo óptimo de los mismos, ignorando áreas de un alto potencial para estos sistemas de producción (Ocampo & Wyckuys, 2012).

Las principales causas de no poseer estas tecnologías son la degeneración del material genético y el aumento concomitante de los problemas fitopatológicos. La carencia de material seleccionado y la falta de zonificación se reflejan en el poco vigor, precocidad, bajo rendimiento de las plantas cultivadas, y en la mala calidad de los frutos cosechados. Las plagas y enfermedades afectan también el rendimiento y la calidad que hacen necesario el uso de tratamientos químicos que aumentan el costo de producción, además de afectar el medio ambiente y provocan una reducción considerable del ciclo productivo, el cual pasó de 3-5 años a menos de dos años (Ocampo & Wyckuys, 2012).

La conservación de germoplasma con características agronómicas ideales como mejores rendimientos, calidad de fruto y adaptabilidad permitirán a las diferentes zonas en donde se establezcan los cultivos obtener mejores producciones además de soportar las fluctuaciones ambientales ya que clima es un factor muy importante para los cultivos del maracuyá, la granadilla y la gulupa, de este depende la productividad y la calidad de los frutos. Debe escogerse el más adecuado en cada región teniendo en cuenta factores como la altitud, la temperatura, los vientos, la humedad relativa, horas luz y la precipitación. Entre más elevadas sean las temperaturas, más pronto se llegará a la época de cosecha, pero la calidad va a afectarse produciendo frutos de mal sabor con disminución de peso y retardo en la formación de color del fruto (Fischer & Piedrahíta, 2009).

La conservación de germoplasma para los frutales en forma de semilla está aún muy poco explotada apenas se han hecho algunas investigaciones y solo con técnicas de laboratorio, que están lejos del alcance de los agricultores. Esta conservación se debe realizar tanto in situ con el fin de que los procesos evolutivos sigan su curso natural como ex situ, porque el duplicado en

semilla es de suma importancia para que haya una representación de la variabilidad de las poblaciones de esos taxa mejor que la contenida en las colecciones de campo (Lobo, 2006).

La fruticultura colombiana, por su heterogeneidad de regiones y su diversidad de especies y modelos productivos, exhibe una gran cantidad de limitaciones de orden técnico, tanto en la producción como en la postproducción. Una de las dificultades de los cultivos frutales es la ausencia de información en cuanto a zonificación, por desconocimiento de los sistemas de producción en cuanto a las características ambientales en los que actualmente están establecidos y que requieren los cultivos (Ríos *et al.*, 2004). No todas las áreas geográficas con aparentes condiciones similares son aptas para la siembra de todas las especies. Éstas tienen sus propias exigencias y rangos de tolerancia respecto de los diferentes factores ambientales y socioeconómicos, lo que hace que se limite su área de distribución, a aquellas zonas que presenten ventajas comparativas y competitivas.

Uno de los fenómenos ecológicos que más está afectando al sector agropecuario en los últimos años es el cambio climático, esencialmente en la distribución espacial de las especies por el aumento de la temperatura, ocasionando la expansión de la frontera agrícola sobre los ecosistemas de la región Andina. Esta región es la más vulnerable a las actividades antrópicas, principalmente por las explotaciones agropecuarias, que por ende pueden causar pérdida de la biodiversidad (Ramírez *et al.*, 2009).

Para optimizar la agricultura y evitar impactos ambientales surge la zonificación agroecológica, esta es una metodología que permite hacer un mejor uso del suelo para identificar las zonas más apropiadas para el desarrollo de las actividades agropecuarias ya que estas se ven influenciadas por interacciones ecológicas tales como altitud, tipos de suelos, régimen de lluvias, temperatura, etc., (FAO, 1997). De igual forma una zonificación agroecológica se puede realizar a un futuro lejano, esto con datos predictivos, como el caso de la base de datos Bioclim.

Para esta investigación se escogieron los sistemas de producción de maracuyá, granadilla y gulupa, ya que tienen un potencial de convertirse en una importante actividad económica del sector agrícola del país, además por su comercialización tanto a nivel nacional como internacional (Rodríguez & Bermúdez, 2009). De igual manera, se considera que la distribución de estos cultivos podría afectarse por las variaciones climáticas que se vienen presentando en los últimos años, debido al efecto del cambio climático. Este posible efecto tendría repercusiones sociales y económicas directas para los agricultores.

La definición de las zonas agroecológicas óptimas de estos cultivos y la conservación del germoplasma con mejores características agronómicas y de adaptabilidad ambiental, optimizará estos sistemas de producción. Los resultados de esta investigación permitirán hacer un mejor uso del suelo, mayores producciones y por lo tanto aumento en la comercialización

por tener productos de mejor calidad, traducándose en beneficios a los productores y una agricultura sostenible.

Por esta razón, con la identificación del comportamiento de la semilla de estas tres especies y la ayuda de modelos de predicción tanto actuales y a futuro (año 2050), se seleccionarán los mejores métodos para conservar los recursos genéticos de estas especies de gran importancia en la economía campesina además de la identificación de las mejores zonas del país para el establecimiento de los cultivos de maracuyá, granadilla y gulupa. Esto permitirá determinar los posibles efectos climáticos sobre la distribución de estos cultivos, la influencia del origen y evolución de las especies en el comportamiento para el almacenamiento y a su vez identificar zonas con alta prioridad para la conservación en las cuales no se deben establecer dichos sistemas de producción.

## LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>HR</b>	Humedad relativa
<b>IVG</b>	Índice de Velocidad de Germinación
<b>mm</b>	Milímetros
<b>UE</b>	Unidades experimentales
<b>No.</b>	Número
<b>ISTA</b>	International Seed Testing Association
<b>m.s.n.m.</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>ml</b>	Mililitros
<b>CIAT</b>	Centro Internacional de Agricultura Tropical
<b>ha</b>	Hectáreas
<b>SIG</b>	Sistemas de Información Geográfica
<b>ZAE</b>	Zonificación Agroecológica
<b>AP</b>	Agricultura de precisión
<b>AEPS</b>	Agricultura Específica por Sitio
<b>IGAC</b>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
<b>CVC</b>	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
Objetivos .....	iii
Justificación .....	iv
Lista de acrónimos.....	vii
Tabla de contenido.....	viii
Lista de tablas.....	xii
Lista de Figuras .....	xv

### Capítulo I

Introducción general: Generalidades de las <i>Passifloraceae</i> .....	1
1. Taxonomía y distribución general.....	2
2. Botánica .....	3
3. Biología de la reproducción .....	4
4. Citogenética .....	6
5. Diversidad.....	7
6. Usos.....	7
7. Especies estudiadas .....	9
7.1. El maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> ) .....	9
7.2. La Granadilla ( <i>Passiflora ligularis</i> Juss.) .....	10
7.3. La Gulupa ( <i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i> Sims.....	11
8. Especies cultivadas.....	12
9. Conservación de germoplasma .....	13
9.1. Bancos de germoplasma que conservan pasifloras .....	14
10. Zonificación agroecológica .....	15
11. <i>Passiflora</i> , investigación y perspectivas, en Colombia y en la región andina.....	16
12. Estructura de la tesis .....	17

## **Capítulo II**

### **Estudios relacionados con el comportamiento de las semillas en maracuyá, granadilla y gulupa como estrategia para su conservación ..... 19**

#### **Resumen..... 19**

#### **Abstract ..... 20**

#### **1. Introducción ..... 22**

#### **2. Materiales y métodos..... 27**

##### **2.1. Área de estudio ..... 27**

##### **2.2. Material vegetal ..... 27**

##### **2.3. Métodos..... 28**

###### **2.3.1. Preparación de las semillas: Protocolo para extracción de las semillas para los ensayos..... 30**

###### **2.3.2. Pruebas de germinación ..... 32**

###### **2.3.3. Ensayo 1: Prueba piloto para seleccionar el mejor sustrato de germinación con semillas en fresco: papel y arena ..... 32**

###### **2.3.3.1. Siembra en papel y almacenamiento en cámaras ..... 32**

###### **2.3.3.2. Siembra en arena ..... 33**

###### **2.3.4. Ensayo 2: Almacenamiento al ambiente de las semillas durante 4, 8, 12 y 16 días y evaluación de la germinación para cada periodo ..... 33**

###### **2.3.5. Ensayo 3, 4 y 5: Secado de semillas con sal (NaCl- Cloruro de sodio), arroz caliente y silica gel ..... 34**

###### **2.3.6. Ensayo 6: Almacenamiento de semillas al ambiente durante un periodo de 6 meses evaluando los porcentajes de germinación y humedad a 1, 3 y 6 meses ..... 35**

###### **2.3.7. Ensayo 7: Secado de las semillas y almacenamiento a 6 meses para determinar el comportamiento fisiológico (protocolo de hong & Ellis, 1996)..... 35**

###### **2.3.8. Ensayo 8: Determinación de la viabilidad de semillas almacenadas durante dos años a condiciones ambientales (23°C, 1100 m.s.n.m) y en refrigeración (4°C) y pruebas de vigor ..... 36**

###### **2.3.9. Análisis de datos ..... 38**

#### **3. Resultados y discusión..... 39**

##### **3.1. Tamaño de muestra ..... 39**

<b>3.2.</b>	<b>Ensayo No.1 Prueba piloto de germinación .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.1.</b>	<b>Siembra de semillas en papel .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Siembra de semillas en arena .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.</b>	<b>Ensayo No. 2. Pruebas de germinación con 4, 8, 12 y 16 días de almacenamiento al ambiente .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4.</b>	<b>Ensayo No. 3. Secado de las semillas con sal .....</b>	<b>44</b>
<b>3.5.</b>	<b>Ensayo No. 4. Secado de las semillas con arroz caliente .....</b>	<b>45</b>
<b>3.6.</b>	<b>Ensayo No. 5 secado de semillas con silica gel .....</b>	<b>46</b>
<b>3.7.</b>	<b>Ensayo No. 6 Almacenamiento de las semillas al ambiente durante seis meses.....</b>	<b>47</b>
<b>3.8.</b>	<b>Ensayo No. 7. Desarrollo del protocolo de Hong y Ellis para determinar el comportamiento de las semillas .....</b>	<b>49</b>
<b>3.9.</b>	<b>Ensayo No. 8. Determinación de la viabilidad y prueba de vigor .....</b>	<b>54</b>
<b>3.9.1.</b>	<b>Semillas almacenadas dos años al ambiente .....</b>	<b>54</b>
<b>3.9.2.</b>	<b>Semillas almacenadas dos años en refrigeración .....</b>	<b>55</b>
<b>3.10.</b>	<b>Pruebas de Vigor .....</b>	<b>58</b>
<b>3.10.1.</b>	<b>Vigor de semillas conservadas al ambiente .....</b>	<b>58</b>
<b>3.10.2.</b>	<b>Vigor semillas conservadas en refrigeración.....</b>	<b>59</b>
<b>4.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>62</b>

### **Capítulo III**

<b>Definición de zonas agroecológicas para mejorar los sistemas de producción del maracuyá la granadilla y la gulupa en Colombia .....</b>	<b>63</b>
--	-----------

<b>Resumen.....</b>	<b>63</b>
---------------------	-----------

<b>Abstract .....</b>	<b>64</b>
-----------------------	-----------

<b>1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>66</b>
<b>2.</b>	<b>Materiales y métodos.....</b>	<b>69</b>
<b>2.1.</b>	<b>Área de estudio .....</b>	<b>69</b>
<b>2.2.</b>	<b>Material vegetal .....</b>	<b>69</b>
<b>2.3.</b>	<b>Cultivos de calidad .....</b>	<b>71</b>
<b>2.4.</b>	<b>Información edafológica para la zonificación agroecológica .....</b>	<b>72</b>
<b>2.5.</b>	<b>Modelación - SIG .....</b>	<b>74</b>
<b>2.5.1.</b>	<b>Procesamiento de datos .....</b>	<b>77</b>
<b>2.5.2.</b>	<b>Correlaciones.....</b>	<b>77</b>
<b>2.5.3.</b>	<b>Análisis de componentes principales .....</b>	<b>77</b>
<b>2.6.</b>	<b>Rangos de aptitude en la zonificación.....</b>	<b>77</b>



2.7.	Modelos y software utilizados.....	78
2.7.1.	Maxent .....	78
2.7.2.	Software Diva-Gis .....	78
2.7.2.1.	FAO Ecocrop con Diva-Gis.....	78
2.7.2.2.	FAO Ecocrop ajustado con ecofisiología .....	79
2.7.2.3.	Bioclim con Diva-Gis .....	80
2.7.3.	Software ArcGis 9,3 .....	80
2.8.	Selección del mejor modelo .....	80
2.8.1.	Validación de los modelos a utilizar .....	80
2.8.2.	Evaluación por parámetro ROC .....	81
2.8.3.	Evaluación por criterio de experto .....	82
2.9.	Cambio climático y modelación a futuro .....	82
3.	Resultados y discusión.....	84
3.1.	Ecofisiología de las especies .....	84
3.2.	Ajuste del modelo FAO Ecocrop.....	86
3.3.	Órdenes de suelos obtenidos en los cultivos .....	86
3.4.	Correlaciones .....	88
3.4.1.	Correlaciones maracuyá .....	89
3.4.2.	Correlaciones granadilla .....	90
3.4.3.	Correlaciones gulupa.....	90
3.5.	Análisis de componentes principales .....	92
3.5.1.	Análisis de componentes principales en maracuyá .....	92
3.5.2.	Análisis de componentes principales en granadilla .....	93
3.5.3.	Análisis de componentes principales en gulupa .....	94
3.6.	Bioclimas escogidos para la modelación.....	95
3.7.	Modelos de zonificación.....	95
3.8.	Selección del mejor modelo .....	101
3.8.1.	Validación de los modelos a utilizar .....	101
3.8.2.	Selección por parámetro ROC y criterio de experto .....	102
3.8.3.	Características modelo 8 escogido para los tres cultivos.....	103
3.8.4.	Mapas de zonificación obtenidos .....	104
3.9.	Modelación según el cambio climático .....	108
3.10.	Áreas de cambio .....	113
4.	Conclusiones .....	117
Cominucaciones en seminarios y congresos.....		119
Bibliografía.....		120

## LISTA DE TABLAS

### **Capítulo II**

<b>Tabla 1.</b>	Departamentos en los cuales se realizaron colectas de fruto para conservar semillas en el año 2009 y número de accesiones colectadas.....	28
<b>Tabla 2.</b>	Porcentaje de humedad y ecofisiología de otra especies de pasifloras comerciales.....	39
<b>Tabla 3.</b>	Porcentajes de humedad y germinación de las semillas de maracuyá, grandilla y gulupa durante seis meses con el secado al ambiente y promedios de germinación.....	48
<b>Tabla 4.</b>	Promedios entre prueba del protocolo de Hong & Ellis.....	51
<b>Tabla 5.</b>	Accesiones almacenadas durante dos años al ambiente que tuvieron germinación.....	55
<b>Tabla 6.</b>	Accesiones almacenadas durante dos años en refrigeración que presentaron germinación.....	56
<b>Tabla 7.</b>	Índice de velocidad de germinación y medición crecimiento para las semillas de maracuyá conservadas al ambiente durante dos años.....	58
<b>Tabla 8.</b>	Índice de velocidad de germinación y medición de crecimiento para las semillas de maracuyá conservadas a 4°C durante dos años.....	59
<b>Tabla 9.</b>	Índice de velocidad de germinación y medición de crecimiento para las semillas de granadilla conservadas a 4°C durante dos años.....	60
<b>Tabla 10.</b>	Índice de velocidad de germinación y medición de crecimiento para las semillas de gulupa conservadas a 4°C durante dos años.....	61

### **Capítulo III**

<b>Tabla 1.</b>	Número de cultivos georreferenciados y departamentos en donde están	70
-----------------	---	----

	ubicados.....	
<b>Tabla 2.</b>	Lista de cultivos de calidad seleccionados entre los cultivos georreferenciados y departamentos en donde están ubicados.....	72
<b>Tabla 3.</b>	Variables bioclimáticas utilizadas para la modelación.....	74
<b>Tabla 4.</b>	Rangos para zonificación según aptitud del cultivo.....	77
<b>Tabla 5.</b>	Ecofisiología de los cultivos de maracuyá granadilla y gulupa.....	84
<b>Tabla 6.</b>	Parámetros de ecofisiología ajustados para Ecocrop para los cultivos.....	86
<b>Tabla 7.</b>	Información de los órdenes de suelos en los que están establecidos los cultivos actuales.....	87
<b>Tabla 8.</b>	Temperaturas y precipitaciones mensuales empleadas en las correlaciones.....	88
<b>Tabla 9.</b>	Variables climáticas que afectan la calidad del fruto de maracuyá.....	89
<b>Tabla 10.</b>	Variables climáticas que afectan la calidad del fruto de granadilla.....	90
<b>Tabla 11.</b>	Parámetro de calidad de fruto de la gulupa y variables climáticas que afectan al fruto de la gulupa.....	91
<b>Tabla 12.</b>	Análisis de componentes principales y valores propios y varianza explicada por el ACP de maracuyá.....	92
<b>Tabla 13.</b>	Análisis de componentes principales y autovalores y varianza explicada por el ACP de granadilla .....	93
<b>Tabla 14.</b>	Análisis de componentes principales para y autovalores y varianza explicada por el ACP de gulupa.....	94
<b>Tabla 15.</b>	Bioclimas escogidos según influencia en la calidad del fruto.....	95
<b>Tabla 16.</b>	Modelos realizados para los tres cultivos.....	96
<b>Tabla 17.</b>	Resultados de la validación de los modelos Bioclim y Maxent.....	101
<b>Tabla 18.</b>	Calificaciones mediante el método de criterio de experto para cada modelo.....	102
<b>Tabla 19.</b>	Valores arrojados por la evaluación con el método del parámetro ROC para cada modelo.....	103

<b>Tabla 20.</b>	Características modelo 8 para cada cultivo.....	103
<b>Tabla 21.</b>	Áreas potenciales actuales y a futuro (2050) para el establecimiento del cultivo del maracuyá respecto a los rangos de probabilidad de éxito.....	108
<b>Tabla 22.</b>	Áreas tanto actuales como a futuro generadas por los modelos para granadilla...	110
<b>Tabla 23.</b>	Áreas tanto actuales como a futuro generadas por los modelos para gulupa.....	113

## LISTA DE FIGURAS

### **Capítulo I**

<b>Figura 1.</b>	Dibujo <i>Passiflora</i> que representa la pasión de Cristo.....	1
<b>Figura 2.</b>	Distribución del género <i>Passiflora</i> en el mundo.....	2
<b>Figura 3.</b>	Elementos florales en el subgénero <i>Passiflora</i> (izq., <i>P. ligularis</i> ) and <i>Tacsonia</i> (der, <i>P. tripartita</i> var. <i>mollissima</i> ).....	4
<b>Figura 4.</b>	Polinizadores de <i>Passiflora</i> : a. abeja mielera en <i>P. sphaerocarpa</i> ; b. colibrí pico de espada en <i>P. mixta</i> ; c. avispa grande en <i>P. caerulea</i> ; murciélago en <i>P. ovalis</i> .	6
<b>Figura 5.</b>	Collar de pasiflora hecho en oro.....	8
<b>Figura 6.</b>	Número de accesiones de pasifloras conservadas en bancos de germoplasma a nivel mundial.....	34

### **Capítulo II**

<b>Figura 1.</b>	Frutos de maracuyá, granadilla y gulupa.....	22
<b>Figura 2.</b>	Anatomía de la semilla de granadilla.....	24
<b>Figura 3.</b>	Esquema del Protocolo para determinar el comportamiento de las semillas en almacenamiento Hong & Ellis.....	29
<b>Figura 4.</b>	a. Preparación de la mezcla de agua con enzima b. Extracción de la pulpa por medio de la enzima. c. Lavado final de las semillas.....	30
<b>Figura 5.</b>	Secado al aire libre de las semillas.....	30
<b>Figura 6.</b>	Apariencia de las semillas después del lavado a. maracuyá, b. granadilla, c. gulupa.....	31
<b>Figura 7.</b>	Termonbalanza y molino de semillas para determinar el % de humedad, PRG, CIAT.....	31
<b>Figura 8.</b>	a. Sustratos de germinación de papel b. Sustrato de germinación de arena.....	32

<b>Figura 9.</b>	a. Plantilla para siembra y b. Siembra de las semillas en arena.....	33
<b>Figura 10.</b>	Cajas de madera con maya al inferior utilizadas para el secado de las semillas al ambiente.....	34
<b>Figura 11.</b>	Cajas para secado de semillas con sal, arroz y sílica gel.....	34
<b>Figura 12.</b>	a. Secador de 22°C y 35%HR y b. Secador de 21°C y 10%HR.....	35
<b>Figura 13.</b>	Cuarto de almacenamiento largo plazo a 18°C bajo cero.....	36
<b>Figura 14.</b>	Germinación de semillas frescas de maracuyá en papel.....	39
<b>Figura 15.</b>	Porcentaje germinación de semillas de maracuyá en fresco en arena.....	40
<b>Figura 16.</b>	Porcentaje germinación de semillas de granadilla en fresco en arena.....	41
<b>Figura 17.</b>	Porcentaje germinación de semillas de gulupa en fresco en arena.....	41
<b>Figura 18.</b>	Porcentajes de germinación de las semillas de maracuyá en intervalos de cada cuatro días de secado al ambiente.....	42
<b>Figura 19.</b>	Germinación de granadilla con secado cada cuatro días.....	43
<b>Figura 20.</b>	Germinación de gulupa con secado cada cuatro días.....	43
<b>Figura 21.</b>	Comportamiento del secado de las semillas de maracuyá en un sustrato de sal.....	44
<b>Figura 22.</b>	Comportamiento del secado de las semillas de granadilla en un sustrato de sal.....	45
<b>Figura 23.</b>	Secado de semillas de maracuyá con arroz.....	45
<b>Figura 24.</b>	Secado de semillas de granadilla con arroz.....	46
<b>Figura 25.</b>	Secado de semillas de maracuyá con sílica gel.....	46
<b>Figura 26.</b>	Secado de semillas de granadilla con sílica gel.....	47
<b>Figura 27.</b>	Germinación promedio de las semillas durante los seis meses de conservación al ambiente.....	49

<b>Figura 28.</b>	Promedios de la pruebas de germinación siguiendo el protocolo de Hong & Ellis.....	51
<b>Figura 29.</b>	Resultados al aplicar el protocolo de Hong & Ellis (1996) para la semilla de maracuyá.....	52
<b>Figura 30.</b>	Resultados al aplicar el protocolo de Hong & Ellis (1996) para la semilla de granadilla.....	53
<b>Figura 31.</b>	Resultados al aplicar el protocolo de Hong & Ellis (1996) para la semilla de gulupa.....	54
<b>Figura 32.</b>	Estado de las plántulas de algunas de las accesiones conservadas durante 2 años a condiciones ambientales.....	57
<b>Figura 33.</b>	Estado de las plántulas de algunas de las accesiones conservadas durante 2 años a condiciones ambientales, granadilla y gulupa.....	57

### **Capítulo III**

<b>Figura 1.</b>	Mapa de distribución de las accesiones de maracuyá, granadilla y gulupa estudiadas.....	71
<b>Figura 2.</b>	Mapa suelos de Colombia a nivel de orden.....	73
<b>Figura 3.</b>	Esquema metodología para generar la zonificación agroecológica.....	75
<b>Figura 4.</b>	Mapa de áreas protegidas de Colombia utilizado para la limpieza de áreas de zonificación (resguardos indígenas, parques nacionales naturales, etc.).....	76
<b>Figura 5.</b>	Parámetros por defecto de Ecocrop para los cultivos según Ecocrop. a. Maracuyá, b. Granadilla, c. Gulupa.....	79
<b>Figura 6.</b>	Parámetros usados para calcular el AUC en los modelos.....	81
<b>Figura 7.</b>	Evaluación del modelo con el parámetro ROC.....	81
<b>Figura 8.</b>	Ejemplo de una evaluación con el parámetro ROC.....	82
<b>Figura 9.</b>	Tendencia de los diferentes escenarios de cambio climático (el A2 es el segundo más pesimista).....	83

<b>Figura 10.</b>	Mapas modelo No. 1 Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima (FAO – EcoCrop) a. maracuyá, b. granadilla y c. gulupa.....	96
<b>Figura 11.</b>	Mapas modelo <b>No. 2</b> Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima (FAO – EcoCrop ajustado) <b>a.</b> maracuyá, <b>b.</b> granadilla c. gulupa.....	97
<b>Figura 12.</b>	Mapas modelo No. 3. Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima con DIVA-GIS <b>a.</b> maracuyá, <b>b.</b> granadilla y <b>c.</b> gulupa.....	97
<b>Figura 13.</b>	Mapas modelo No. 4. Todos los cultivos caracterizados y el bioclima escogido con DIVA-GIS a. maracuyá, b. granadilla y c.gulupa.....	98
<b>Figura 14.</b>	Modelo No.5. Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y todo el bioclima con DIVA-GIS a. maracuyá, b. granadilla y c. gulupa.....	98
<b>Figura 15.</b>	Mapas modelo 6. Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y el bioclima escogido con DIVA-GIS a. maracuyá, b. granadilla y c. gulupa.....	99
<b>Figura 16.</b>	Mapas modelo No.7. Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima con MAXENT. a. maracuyá, b. granadilla y c. gulupa.....	99
<b>Figura 17.</b>	Mapas modelo no.8. Todos los cultivos caracterizados y el bioclima escogido con MAXNET a. maracuyá, b. granadilla y c. gulupa.....	100
<b>Figura 18.</b>	Mapas modelo no. 9. Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y todo el bioclima con MAXENT a. maracuyá, b. granadilla y c. gulupa.....	100
<b>Figura 19.</b>	Mapas modelo no. 10. Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y el bioclima escogido con MAXENT. a. maracuyá, b. granadilla y c. gulupa.....	101
<b>Figura 20.</b>	Modelo 8, zonificación para maracuyá seleccionado por el parámetro ROC.....	105
<b>Figura 21.</b>	Modelo 8, zonificación para granadilla seleccionado por el parámetro ROC.....	106
<b>Figura 22.</b>	Modelo 8, zonificación para gulupa seleccionado por el parámetro ROC.....	107
<b>Figura 23.</b>	Zonas de aptitud para el cultivo de maracuyá con el cambio climático al 2050.....	109
<b>Figura 24.</b>	Zonas de aptitud para el cultivo de granadilla con el cambio climático al 2050.....	111
<b>Figura 25.</b>	Zonas de aptitud para el cultivo de gulupa con el cambio climático al 2050.....	112



<b>Figura 26.</b>	Mapa de cambio para el cultivo de maracuyá (áreas nuevas, remanentes y perdidas).....	113
<b>Figura 27.</b>	Mapa de cambio para el cultivo de granadilla (áreas nuevas, remanentes y perdidas).....	114
<b>Figura 28.</b>	Mapa de cambio para el cultivo de gulupa (áreas nuevas, remanentes y perdidas).....	115

# Capítulo I

---

## Generalidades de las *Passifloraceae*

Paula Posada<sup>1,2,3</sup>, John Ocampo<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia sede Palmira

<sup>2</sup>Centro de *Bio-sistemas*/Universidad Jorge Tadeo Lozano

<sup>3</sup>Bioversity International

<sup>4</sup>Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT

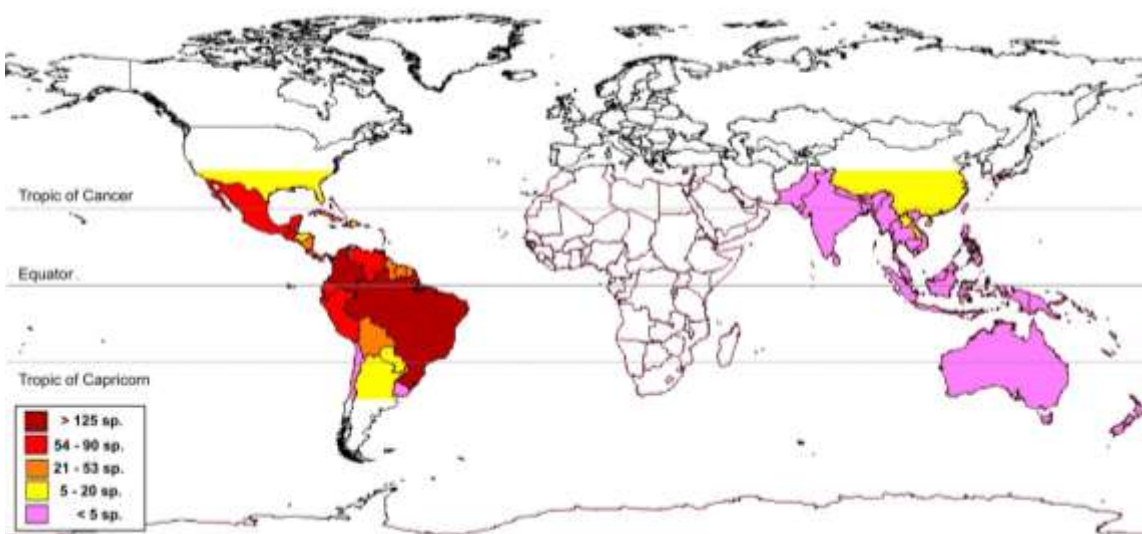
Algunas plantas han recibido la atención del hombre, ya que son importantes para él como fuentes de alimentación, vivienda, medicamentos o incluso narcóticos. Pero la primera vez que las flores de la pasión llamaron la atención de los europeos, fue por otra razón, para los españoles que encontraron por primera vez estas plantas en el Nuevo Mundo en el siglo XVI, vieron en ellas los elementos de la pasión de Cristo, y una señal de que el Nuevo Mundo con éxito se convertiría al cristianismo (Uribe 1955). Este simbolismo religioso dio a estas plantas su nombre común de *Flos Passionis*, o "flores de la pasión". El jesuita español Juan Romero presentó el primer dibujo al Papa Pablo V (Camollo Borgense) en 1608. Unos años más tarde, muchos dibujos similares fueron puestos a disposición de un público más amplio en Italia y Alemania (Kugler & King, 2004). Las características botánicas en estos dibujos se transformaron para apoyar la interpretación religiosa de forma muy explícita (Figura 1).



**Figura 1.** Dibujo de una planta de *Passiflora* que representa la pasión de Cristo: por el monje dominico Simone Parlasca de 1609, (<http://www.flwildflowers.com/passiflora.html>)

## 1. Taxonomía y distribución general

La familia *Passifloraceae* está en el orden de las *Malpighiales* (Judd *et al.*, 2002), y se divide en dos tribus, *Paropsieae* y *Passifloreae*, cuenta con 18 géneros y alrededor de 630 especies distribuidas a través del neotrópico y unas pocas en el Viejo Mundo principalmente en Australia y parte del sureste de Asia (Ulmer & McDougal, 2004). De los 20 géneros reconocidos en la actualidad, cuatro se encuentran en América (*Ancistrothyrsus*, *Dilkea*, *Mitostemma* y *Passiflora*). El género *Passiflora* L. el más importante de la familia *Passifloraceae*, con aproximadamente 573 especies inventariadas distribuidas principalmente en el Neotrópico (Killip, 1938; Ulmer & MacDougal, 2004), en las regiones tropicales de América, desde las zonas costeras hasta 3.800 m en los páramos andinos (Holm-Nielsen *et al.*, 1988). Sólo 22 especies crecen en el Viejo Mundo, en las regiones tropicales y subtropicales del sudeste de Asia y el Pacífico Austral (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución del género *Passiflora* L. en el mundo de acuerdo a Ocampo (2007).

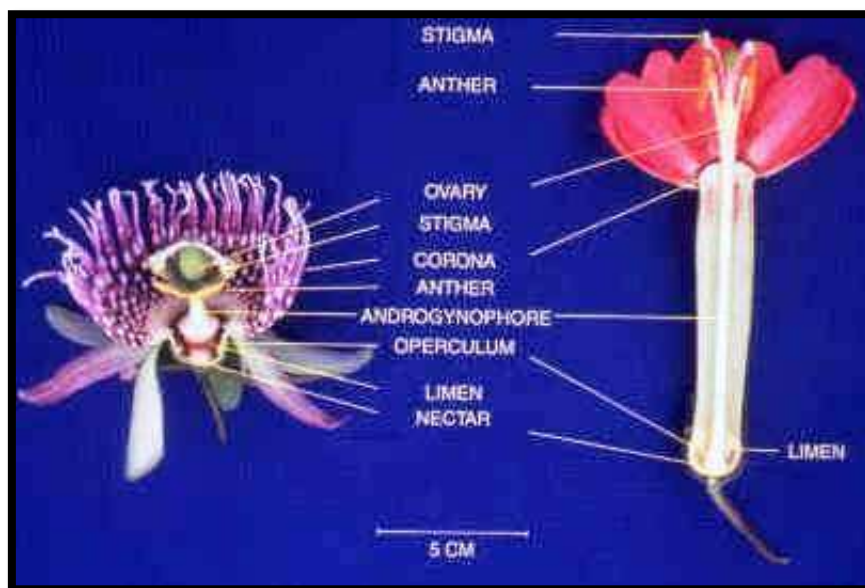
Según Killip (1938), el género *Passiflora* L. fue creado por Linneo en 1753, quien describió 24 especies en su *Species Plantarum*, número incrementado a 35 por Lamarck (1789). La primera monografía extensa de la familia fue publicada por Cavanilles en 1790 con 43 especies clasificadas. Fue seguido por autores como Jussieu (1805), De Candolle (1822, 1828), Masters (1872, 1877), y Harms (1898, 1925), que describieron unas 250 especies divididas en 21 secciones (Killip, 1938). En su monografía de 1938, *Las Especies Americanas de Passifloraceae*, Killip hizo la descripción más amplia de especies del Nuevo Mundo, clasificando 355 especies en cuatro y 22 subgéneros, con base en la morfología floral. En Colombia, el sacerdote Uribe

(citado por Ocampo 2007) describió varias especies nuevas y Escobar (citado por Ocampo 2007), revisó los subgéneros *Distephana*, *Manicata* (syn. *Granadillastrum*), *Rathea* y *Tacsonia* incluyendo *Tacsoniopsis* en el segundo, y describe un subgénero adicional, *Porphyropathanthus*. Ella falleció en 1993, dejando un documento inédito en su revisión del subgénero *Astrophea*. En la última década, Feuille & MacDougal han publicado numerosos trabajos incluyendo la descripción de alrededor de 15 nuevas especies, principalmente de los subgéneros *Decaloba* y *Astrophea* (MacDougal, 1992, 1994, 2006; Feuillet, 2002, 2004). Recientemente, Feuillet y MacDougal (2003) propusieron una nueva clasificación infragenética de *Passiflora*. De acuerdo con su propuesta, basada en caracteres morfológicos, cuatro subgéneros serían reconocidos: *Astrophea* y *Deidamioides*, del Sur y América Central, *Decaloba*, de América, el sudeste asiático y Australia, y *Passiflora*, exclusivamente de América (Ulmer & MacDougal, 2004). Además, rebajaron el género *Tetrastylis* como una sección del subgénero *Deidamioides*.

## **2. Botánica**

Las plantas del género *Passiflora* son en su mayoría trepadoras con zarcillos, herbáceas o con tallos leñosos y axilares, o muy rara vez arbustivas o arborescentes. Sus hojas en general son alternas, simples, enteras, lobuladas o palmadas. Con estípulas generalmente presentes en la base de los peciolo, los zarcillos son axilares, derivados de pedicelos estériles. Las flores de la pasión pueden ser bisexuales o unisexuales, regulares. La Figura 3 muestra los diferentes elementos de las flores de dos especies de subgéneros *Passiflora* y *Tacsonia*. El receptáculo es grande a menudo ahuecado como una taza o cuenca, y tiene numerosos apéndices filamentosos o anulares entre la corola y los estambres, que pueden ser de colores brillantes y forman una corona visible de una gran diversidad. El cáliz se compone de 3-5 carpelos libres, sépalos imbricados, y la corola de 3-5 pétalos libres que pueden estar ausentes en casos excepcionales. Los 3-5 (10) estambres están insertados, ya sea en la parte inferior del perianto, o en la base o parte superior del ginóforo; sus filamentos son filiformes libres o unidos las anteras son versátiles, bicelares, con una dehiscencia longitudinal. El ovario es superior, más o menos estipitado, muy raramente sésil, unilocular, formado por 3-5 carpelos unidos. Los estilos son iguales en número a la placenta, aglutinados en la base, distinto en la parte superior, la difusión, sencillo o ramificado, o separado; el estigma claviforme o peltado, a veces bilobulado; Los óvulos son numerosos, 1-2 seriados, adjuntos a 3-5 placentas parietales lineales por largos o cortos funículos. El fruto es una baya indehisciente o una cápsula con 3-5 válvulas semi-placentíforas. Las semillas son numerosas, con un funículo dilatado en una pulpa o arilo sacciforme, su testa es foveolado, fácilmente separable de la membrana que lleva. El embrión

recto ocupa el eje de un albumen punto carnosos, los cotiledones son foliáceos y planos y la radícula es cilíndrica (Ocampo 2007).



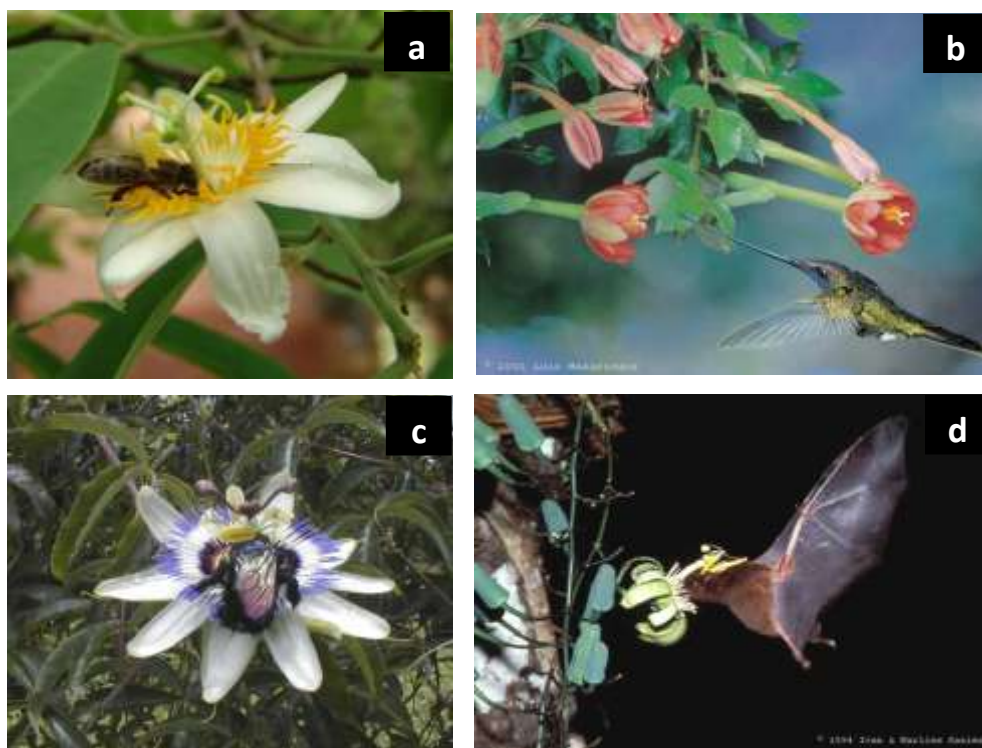
**Figura 3.** Elementos florales en el subgénero *Passiflora* (izq., *P. ligularis*) and *Tacsonia* (der., *P. tripartita* var. *mollissima*). Foto: Geo Coppens d'Eeckenbrugge.

### 3. Biología de la reproducción

La alta variabilidad en la forma y colores de la flor en *Passiflora* corresponde a los varios síndromes de polinización, que muestran las adaptaciones a los insectos, las aves y los murciélagos (Figura 4). El comportamiento de los polinizadores puede ser influenciado por la morfología así como las características químicas florales (Varassin *et al.*, 2001), la longitud del hipanto, corola y el color de la corona, la posición de los estigmas, y las concentraciones de azúcar o de sal en sus recompensas de néctar son fundamentales para cada tipo de polinizadores, pequeñas abejas y las avispas son polinizadores comunes de las especies de flor pequeña, sobre todo los de subgéneros *Astrophea*, *Decaloba* y *Tryphostemmatoides*. Las especies con flores de tamaño mediano o grande son polinizadas por avispas de gran tamaño (*Xylocopa* spp.) principalmente en el subgénero *Passiflora*. La polinización de insectos se asocia generalmente con una corona bien desarrollada, con la combinación concéntrica de colores blanco, amarillo o púrpura. El ancho y la profundidad de la flor, la resistencia del opérculo al cierre de la cámara de néctar, y la distancia entre la corona y los órganos sexuales se correlacionan con el tamaño del insecto. El síndrome de polinización del Colibrí es el segundo

más frecuente. Se asocia con naranja dominante, colores rosa o rojo y una morfología tubular en general como resultado de un hipanto tubular y/o de la erección de corona y una prolongación del tubo floral alrededor del androginóforo. Estos síndromes son dominantes en grupos particulares. La mayor especialización se presenta por especies andinas del subgénero *Tacsonia* y *Psilanthus* (*P. trinervia*), cuyo hipantio largo es esencialmente adaptado a la espada del pico del colibrí *Ensifera Ensifera* Boissoneau (Büchert & Mogens, 2001). El mismo síndrome aparece en las flores de color rojo brillante de los subgéneros *Distephana* y *Murucuja*, polinizadas por especies más pequeñas de colibrís de tierras bajas, como *Phaethornis superciliosus* L. y *Trochilus polytmus* L. (Snow, 1982). Algunas especies, por ejemplo *P. kermesina* y *P. coccinea*, también son visitadas y al parecer polinizadas por mariposas *Heliconius* (Benson *et al.*, 1976). La Polinización por murciélagos se ha descrito en varias especies de la Amazonía, como *P. mucronata* Lam. y *P. ovalis* Vell. ex Roemer, polinizadas por filostómidos *Glossophaga soricina* Pallas, así como en *P. penduliflora* Bert, cuyo más frecuente visitante es el gran murciélago de las Antillas de lengua larga *Monophyllus redmani* Leach (Sazima & Sazima, 1978; Kay, 2001). El síndrome de polinización correspondiente está constituido principalmente por antesis nocturna, flores blancas, la liberación de un olor desagradable y un arreglo particular de los estigmas y estilos.

Las especies de *Passiflora* son generalmente muy alógamas. La polinización cruzada es favorecida por la colocación de las anteras por debajo del estigma, los granos de polen son grandes pesados y pegajosos (Nishida, 1958), y frecuentemente hay autoincompatibilidad fisiológica (Bruckner & Otoni 1999). El género *Passiflora* contiene ambas especies autocompatibles y autoincompatibles (Vasconcellos, 1991). Ho & Shii (1986) observaron que la reacción de autoincompatibilidad se lleva a cabo en las papilas del estigma. Sus cruzamientos dialélicos sugirió que son controlados por un locus solo multialelico. Bruckner & Otoni (1999) confirmó por primera vez este resultado, sin embargo, más tarde encontró evidencia de un segundo sitio de rechazo en el estilo (Rego *et al.*, 1998, 2000). Según Escobar (1992), la auto-compatibilidad es la regla en los subgéneros *Tacsonia* y *Manicata*, cuyas especies en conjunto forman frutos con semillas después de la autopolinización controlada.



**Figura 4.** Polinizadores en el género *Passiflora*: **a.** abeja melífera en *P. sphaerocarpa*; **b.** colibrí pico de espada en *P. mixta*; **c.** abejorro (*Xylocopa* sp.) en *P. caerulea*; **d.** murciélago en *P. ovalis*. Fotos: L. Marariegos, I. Sazima, Marlies, Sazima y J. Ocampo.

#### 4. Citogenética

El número de cromosomas están ahora disponibles para más de 150 especies de *Passiflora* (Snow & MacDougal, 1993; De Melo, 2001.). La mayoría de las especies de *Passiflora* son diploides, con  $2n = 12, 18, 20$  o  $24$  cromosomas, aunque algunos tetraploides ( $2n = 24$ ), hexaploides ( $2n = 36$ ) y octoploides ( $2n = 72$ ) se han observado (Snow & MacDougal, 1993; De Melo 2001). Varios números de la base de cromosomas ( $n = 3, 6, 9$ ) se han propuesto para el género, sin embargo, en ausencia de una clara comprensión de las relaciones filogenéticas entre las especies, no ha habido consenso (Storey, 1950; Raven, 1975; Yockteng, 2003). Según De Melo (2001),  $n = 6$  es el número de la base más probable para el género, mientras que  $n = 9$ ,  $n = 10$  y  $n = 12$  fueron considerados como secundarios. Sin embargo, la base el segundo número más probable  $n = 12$ , parece haber jugado un papel importante en la evolución del grupo, ya que está mejor representada en otros géneros de la familia (De Melo y Guerra, 2003). Yockteng (2003) y Yockteng & Nadot (2004) presentan una hipótesis alternativa donde  $n = 12$  es el número de cromosomas ancestrales de *Passiflora*, como el género *Adenia* ( $2n = 24$ ) se colocó

como un clado (*spp* con ancestro común) hermano de *Passiflora* en su estudio filogenético de las secuencias ncpGS.

## **5. Diversidad**

Colombia con 167 especies, es el país con mayor diversidad de formas cultivadas con distribución entre los 1.000 y 2.000 m.s.n.m. (Ocampo *et al.*, 2007). Las principales especies cultivadas en Colombia son el maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener), la granadilla (*P. ligularis* Juss.), la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims), la curuba de Castilla (*P. tripartita* var. *mollissima* (Kuth) Holm-Nielsen & Jorgensen), la curuba India (*P. tarminiana* Coppens & V.E. Barney), la badea (*P. quadrangularis* L.) y la cholupa (*P. maliformis* L.). El maracuyá es la principal especie en importancia económica con una producción mundial de 640.000 t/año (Passion fruit juice, 2010), siendo Brasil el principal productor, y Ecuador y Colombia los principales exportadores.

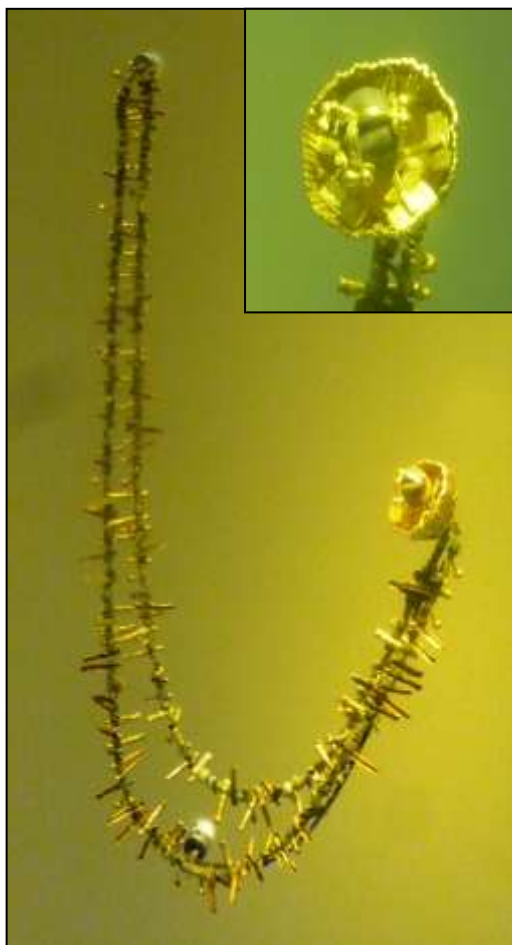
Por esta razón las pasifloras han sido objeto de numerosos estudios sobre su distribución geográfica (Segura *et al.*, 2002; Ocampo *et al.*, 2007), variabilidad genética (Sánchez *et al.*, 1999; Segura *et al.*, 2002; Ocampo *et al.*, 2004), morfológica (Villacís *et al.*, 1998; Primot *et al.*, 2005; Ocampo & Coppens d'Eeckenbrugge, 2009), producción y comercialización, que han arrojado resultados sobre la biodiversidad que posee el país en estas especies y su gran potencial económico (Rodríguez & Bermúdez, 2009).

## **6. Usos**

El descubrimiento de semillas de *Passiflora* de varios miles de años de edad en sitios arqueológicos en Virginia, América del Norte, proporciona fuertes evidencias del uso prehistórico de los frutos por el pueblo amerindio (Gremillion, 1989). En Colombia, 200 años antes de Cristo, los indígenas del pueblo Malagana fueron inspirados por una flor de la pasión para crear una joya de oro (Figura 5).

La mayoría de especies de *Passiflora* presentan un interés ornamental, gracias a sus espectaculares formas y colores, otros son de interés farmacéutico por sus propiedades sedantes, antiespasmódicas, antibacterianas e insecticidas, pero son aún más apreciadas por sus frutos comestibles, que se consumen al natural o en preparados como jugos, sorbetes y helados.





**Figura 5.** Collar de pasiflora hecho en oro (Museo del oro Bogotá, Colombia. 2010). Foto: Paula Posada.

Varias especies de *Passiflora* se han utilizado ampliamente en la terapéutica tradicional en muchos países. *P. edulis* se ha utilizado como un sedante, diurético, vermífugo, antidiarreico, estimulante, tónico y también en el tratamiento de la hipertensión, síntomas de la menopausia, cólicos de los lactantes en América del Sur (Chopra *et al.*, 1956; Kirtikar & Basu, 1975). En Nagaland (India), las hojas frescas de *Passiflora edulis* se hierven en una pequeña cantidad de agua y el extracto se bebe para el tratamiento de la disentería y la hipertensión (Jamir *et al.*, 1999). El extracto de *P. alata* (granadilla fragante) ha sido utilizada como un ansiolítico, sedante, diurético y analgésico en Brasil (Oga *et al.*, 1984). En las Indias Occidentales, México, Países Bajos y América del Sur, las raíces de *P. caerulea* L., se han utilizado como un sedante y vermífugo. En Italia, la planta ha sido utilizada como un antiespasmódico y sedante (Hickey & King, 1988; Dharwan *et al.*, 2004). *P. foetida* L. en infusión de hojas se ha utilizado para tratar la histeria y el insomnio en Nigeria (Nwosu, 1999). En la India esta planta *P. foetida* es ampliamente cultivada y sus hojas se aplican en la cabeza para el mareo y dolor de cabeza, una decocción se da en los casos de bilis y el asma y la fruta se utiliza como un emético (Kirtikar &

Basu, 1975). En Brasil, la misma hierba se utiliza en forma de lociones o cataplasmas para la erisipela, y enfermedades de la piel con inflamación (Chopra *et al.*, 1956). *P. incarnata* L. es un popular remedio tradicional europeo para el insomnio, la ansiedad, y ha sido usado como un té calmante en América del Norte (Bergner, 1995). El jugo de *P. maliformis* L. se utiliza para las fiebres intermitentes en Brasil. *P. quadrangularis* (granadilla gigante) se usa en todo el Caribe como un sedante y para dolores de cabeza. La infusión de hojas se toma para la hipertensión y la diabetes (Seaforth *et al.*, 1983). En América Central, los tallos de las partes aéreas de *P. sexflora* Juss. y *P. vitifolia* Kunth se han utilizado contra las mordeduras de serpiente (Morton, 1981).

## **7. Especies estudiadas**

### **7.1. El maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*)**

El maracuyá es una especie originaria de Brasil, distribuida en los países tropicales, es la pasiflora de mayor importancia económica los principales productores en el mundo son Brasil, Ecuador y Colombia. En Colombia los principales productores son Huila y Valle del Cauca (Agronet, 2011). Es uno de los frutos más apetecidos a nivel mundial debido a su intenso sabor y su alta avidez; por lo que en Colombia se ha convertido en un cultivo de gran importancia. Se exporta como fruta seca y procesada (néctar, jalea, mermelada, jugo concentrado, etc.) es el tercer jugo exótico en importancia después de los jugos de mango y piña (Cleves *et al.*, 2009).

En Colombia se trabaja con este frutal desde 1963 cuando el ICA desarrolló los primeros cultivos con semillas y arbolitos en el centro de investigación de Palmira y poco a poco la aceptación de los consumidores fue creciendo, hasta que en la década de los 80 la empresa Grajales contaba con el cultivo más grande de Colombia con 1.500 has e hizo exportaciones de esta fruta a los mercados norteamericanos, del Caribe y Europa (Chacón, 1991).

El maracuyá se desarrolla muy bien en climas cálidos con temperaturas promedio óptimas de 24 a 28°C y en altitudes de 0 a 1.300 m.s.n.m. y altitud óptimas de 800 a 1.200 m.s.n.m. (Chacón, 1991; Cleves *et al.*, 2009).

El suministro de lluvias que requiere el maracuyá va de 800 a 1.500 mm/año bien distribuidas, si no se cumple se debe implementar riego, la humedad relativa promedio es de 70%, una radiación solar de mínimo 5 horas de luz por día. Los mejores suelos para el cultivo son os francos, profundos, sueltos, bien drenados pero con buena capacidad de retención de

humedad y ricos en materia orgánica, un pH entre 4,5 y 6,5, aunque pueden soportar un poco la salinidad (Chacón, 1991; Cleves *et al.*, 2009).

En el maracuyá la enfermedad más limitante reportadas por los agricultores tiene que ver con la presencia de Fusarium, bacteriosis y roña de los frutos (Miranda & Carranza, 2010) e igualmente otras investigaciones en enfermedades como la secadera, pudrición seca de la raíz ó pudrición del cuello, debido al tipo de daño causado y puede llegar a ser endémica en una región si no se toman medidas preventivas (Bernal, 1999). En 1996, la 'secadera' había devastado 400 ha de granadilla en la zona de Urrao (Antioquia) y 200 más se encontraban en proceso de eliminación (Tamayo & Varón, 1996). El hongo es un habitante natural del suelo y su desarrollo se ve favorecido por la alta humedad presente en la zona adyacente a la base del tallo, por tierras mal drenadas (suelos arcillosos) y por la presencia de heridas en la base del tallo. Los trips son la plaga que más afecta al cultivo, ya que son causantes de daños hasta de un 95% en terminales y de costos de manejo de \$1.048.278/hectárea/año. (Salamanca *et al.*, 2010). De igual forma las moscas del botón floral (*Dasiops* sp. y *Lonchanea* sp.) también son una limitante en la producción de los cultivos (Miranda & Carranza, 2010).

El maracuyá empieza a producir entre los 6 y los 10 meses, dependiendo de las condiciones climáticas, especialmente la temperatura; la madurez para cosecha de la fruta se determina por el desprendimiento de la fruta de la planta y se realiza la recolección (Chacón, 1991).

## **7.2. La Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.)**

La especie es nativa de los Andes tropicales desde Bolivia a Venezuela y cultivada principalmente en Colombia, Ecuador y Perú (Killip, 1938). En los últimos años, la granadilla ha sido introducida a países Centroamericanos (sur de México y Costa Rica) y Africanos (Kenia). Por su exquisito sabor dulce y aromático, la granadilla es una fruta de gran aceptación para el consumo fresco. A nivel nacional los departamentos de Huila, Cundinamarca, Caldas, Quindío y Valle del Cauca son los mayores productores con cerca de 3.010 ha cultivadas (Miranda, 2009).

Esta especie prospera bien en clima frío moderado con alturas entre 1.800 a 2.000 m.s.n.m. con temperaturas de 16 a 20°C, precipitaciones de 2.000 a 2.500 mm bien distribuidas durante el año y humedad relativa alrededor de 75% (Miranda, 2009). Requiere suelos de texturas livianas de franca a franca-arenosa o franca-arcillosa y con drenaje adecuado que evite los encharcamientos, niveles freáticos altos y con pH entre 5,5 – 6,5 (Miranda & Carranza, 2010).

La enfermedad más importante del cultivo de granadilla ha sido la secadera causada por el hongo *Nectria haematococca* debido al daño que puede causar. Entre otras enfermedades que sufre este cultivo están la roña, ojo de pollo, virus de la hoja morada, cuarteamiento de frutos, nudos de raíz, mohos de los botones florales, etc., pero las reportadas por los agricultores tienen que ver con la presencia de *Fusarium*, Antracnosis, bacteriosis y roña de los frutos (Miranda & Carranza, 2010).

Según Rivera *et al.* (2002) las principales plagas que afectan al cultivo de granadilla son: Trips al igual que al lulo el *Thysanoptera: Thripidae* o Enroscador de cogollos que es una de las plagas más limitantes, las moscas del botón floral que afecta en casi todas las regiones del país, las chisas que son larvas de varias especies de coleópteros que hacen daño a la raíz, gusanos cosecheros que dañan el follaje, entre otras. El ciclo de cultivo de la granadilla es de 5 años, a los nueve meses inicia producción.

### **7.3. La Gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims)**

Conocida como cholupa, fruta de la pasión púrpura, granadilla púrpura, cholupa y su nombre más usado en Colombia gulupa (Ocampo *et al.*, 2007), es originaria del sur del Brasil Paraguay y el Norte de Argentina; se ha distribuido por países como Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela, Australia, USA (Hawái) y otras islas del Pacífico Sur. El fruto es muy apetecido para el consumo en fresco debido a su sabor y aroma, también se emplea procesada y para fines medicinales (Jiménez *et al.*, 2009). En Colombia los departamentos en que generan las producciones a nivel nacional son Cundinamarca, Antioquia, Huila, Valle del Cauca y Boyacá, siendo el primero el mayor productor (Rodríguez & Bermúdez, 2009). Actualmente en Colombia, la gulupa ocupa el tercer renglón dentro de las frutas exportadas hacia el mercado europeo después del banano y la uchuva. (Pinzón *et al.*, 2007). Según Jiménez *et al.*, para el 2009 el área aproximada cultivada en gulupa era de 700 has aunque no es un dato oficial.

En Colombia, los cultivos de gulupa se encuentran ubicados entre los 1.400 y 2.200 m.s.n.m (Miranda & Carranza, 2010), si bien las mejores producciones se logran alrededor de la primera altitud. Para establecer sus requerimientos edafo-climáticos se hace con referencia al cultivo de la granadilla (*P. ligularis*) y como tal, la mayoría de ellos se aplican en términos prácticos para la gulupa; así se habla de rangos que van desde 1.600 hasta 2.700 m.s.n.m., con temperaturas de 16 a 20°C y precipitaciones de 1.500 a 2.500 mm (Pachón *et al.*, 2006), aunque Miranda & Carranza (2010) reportan de 900 a 1.800 mm.

La gulupa se desarrolla en diferentes tipos de suelos, sin embargo prefieren suelos con texturas franco arenosas (Morley-Bunker, 1999), ya que en estas se presenta buen desarrollo y crecimiento del sistema radical. Los pH aconsejables deben estar entre 6,5 y 7,5. Es necesario contar con buenas condiciones de drenaje, altos contenidos de materia orgánica y baja presencia de sales (Jiménez, 2009).

Dentro de los problemas fitosanitarios que afectan al cultivo de la gulupa, se destacan por reducir la producción hasta en un 80%, la roña (*Cladosporium herbarum*), convirtiéndose en la enfermedad más limitante, la antracnosis (*Colectotrichum gloeosporioides*) y la mosca de las frutas (*Dasiops* sp.), los cuales deterioran la calidad del fruto haciéndolo perder su valor comercial (Jiménez, 2009). El ciclo de cultivo de la gulupa es entre 1 y 3 años, e inicia su producción de 7 a 12 meses (Leiva *et al.*, 2011).

## **8. Especies cultivadas**

Colombia es el país con mayor diversidad de especies, y también el país con más variedad de pasifloras cultivadas comercialmente (Coppens d'Eeckenbrugge, 2003). Aunque las pasifloras cultivadas se encuentran distribuidas en diversas condiciones agroecológicas principalmente en los departamentos de la zona Andina (Antioquia, Valle del Cauca, Boyacá, Cundinamarca, Quindío, Risaralda y Caldas), no todas esas áreas cumplen con los requisitos de cada especie para lograr una producción competitiva y sostenible. Lo anterior implica que pueden haber zonas donde estos frutales se cultivan pero son marginales y difícilmente se logrará allí una producción rentable para satisfacer mercados exigentes en cantidad y calidad (Martínez *et al.*, 2009).

Más de 80 especies de *Passiflora* producen fruto comestible, las más interesantes pertenecientes a subgéneros *Passiflora* y *Tacsonia* (Martín & Nakasone, 1970; Coppens d'Eeckenbrugge, 2003). Las dos formas botánicas de *P. edulis* Sims, *edulis* (maracuyá morado) y *P. flavicarpa* Degener (maracuyá amarillo), son los cultivos de frutas más importantes en la familia, con una producción mundial estimada en 640.000 toneladas (Passion fruit, 2010) y una presencia permanente en el mercado internacional. Otras frutas de la pasión cultivadas son *P. tripartita* var. *mollissima* (Kunth) Holm-Nielsen y Jørgensen (curuba de Castilla), *P. tarminiana* Coppens y Barney (curuba la India), *P. ligularis* (granadilla), *P. maliformis* (granadilla de piedra, cholupa), *P. quadrangularis* (gigante granadilla), *P. popenovii* Killip (granadilla de Quijos), *P. alata* (granadilla fragante) y *P. laurifolia* L. (manzana de oro). Estas ocho especies se han comercializado en América del Sur para los mercados locales y nacionales, principalmente en Colombia y Brasil, con incursiones en el mercado internacional. El maracuyá se consume fresco o transformado en zumos, sorbetes, helados, y los componentes de la pastelería industrial y los

dulces. Las especies comerciales más importantes son susceptibles a un gran número de plagas y enfermedades, con considerables efectos negativos en la producción. Debido al gran número de especies con producción de frutos comestibles, el género *Passiflora* tiene un alto potencial para la diversificación de cultivos y el desarrollo económico, que indujo a las instituciones de investigación en los países andinos para dar prioridad a su caracterización y la evaluación de las poblaciones silvestres y cultivadas (Debouck & Libreros, 1995), y desarrollar estrategias para la conservación y mejora de estos recursos genéticos.

### **9. Conservación del germoplasma**

En el campo de los recursos fitogenéticos, el comportamiento fisiológico en almacenamiento de las semillas de una especie y su longevidad determinan cómo conservarlas para el uso. Por tratarse de un método práctico y económico, el almacenamiento en forma de semilla es el preferido para conservar el 90% de los seis millones de accesiones mantenidos en colecciones ex situ en todo el mundo. Cabe aclarar que este tipo de bancos de germoplasma se usa para las semillas ortodoxas ya que las recalcitrantes no soportan el secado y se deben emplear otros métodos para su almacenamiento (yemas, tejidos, etc.), pero por otra parte están las semillas de tipo intermedias que han sido poco estudiadas, las cuales si soportan algo de desecación y bajas temperaturas (Rao *et al.*, 2007).

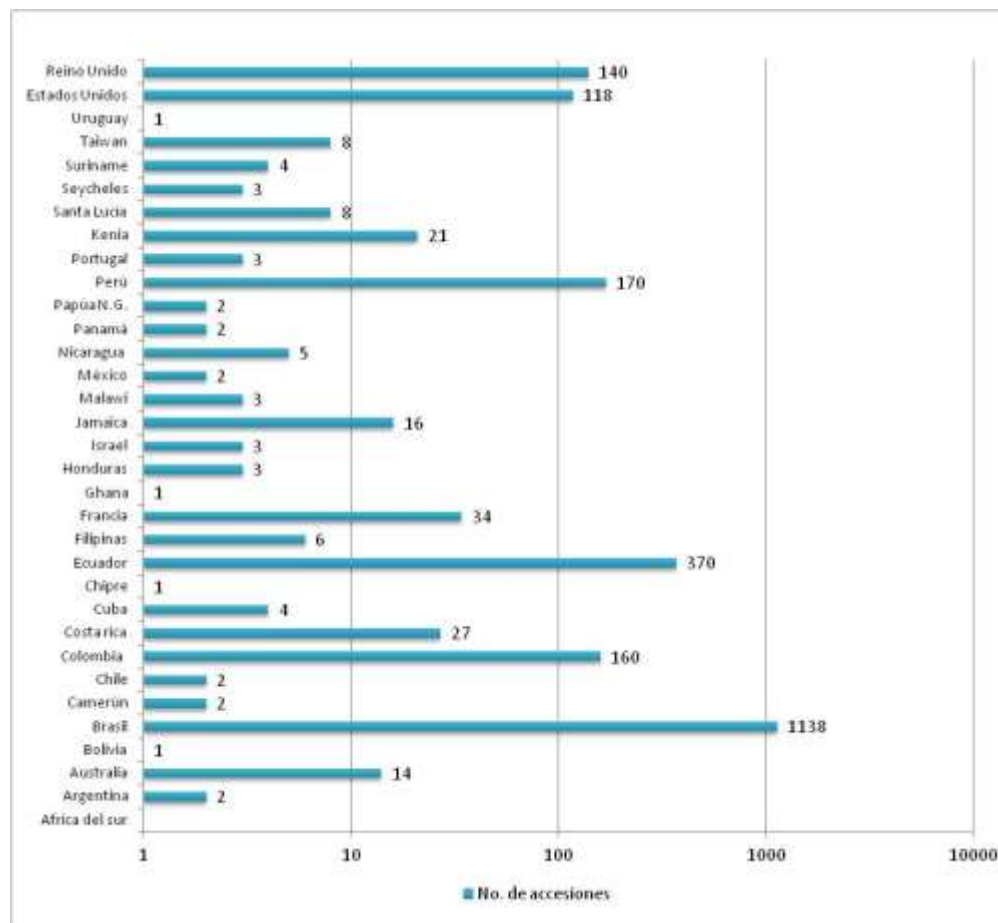
Por esta razón identificar el tipo de semilla según el protocolo de Hong & Ellis, (1996) de especies de interés agronómico, económico, ambiental, cultural, etc., es de suma importancia en la conservación de sus recursos genéticos. Ya que de igual forma como la calidad de la tierra y las condiciones ambientales en las que se desean establecer los cultivos, son importantes, también es necesario tener en cuenta que la calidad del germoplasma utilizado influye en los resultados de producción. Este es el caso de las pasifloras, especies que tienen tanto importancia económica como ecológica para Colombia, y gran parte de su germoplasma se está perdiendo por carecer de programas de conservación de semillas y por el daño a los ecosistemas.

El estudio del comportamiento fisiológico de las semillas permite identificar las mejores condiciones para la conservación de las semillas de acuerdo con su fisiología, según Tozzi & Takaki, (2011) las principales reservas de semillas para su germinación son los carbohidratos, lípidos y proteínas, que varían en cantidad entre diferentes especies, es por esto que el vigor y el almacenamiento de semillas están influenciadas por sus propias reservas. En el caso del maracuyá Tozzi & Takaki (2011) determinaron la dinámica de las reservas de la semilla, la cual utiliza principalmente los lípidos presentes en el endospermo como fuente de reserva para la

germinación y los niveles se reducen al mismo tiempo que sobresale radícula, entre el cuarto y sexto día de la siembra. Además, los órganos de proteínas están presentes en los cotiledones, que son degradados cuando la germinación se produce y son casi agotados por el momento de la protrusión de la radícula, es así como la correcta conservación de las semillas garantizará que no haya deterioro en la composición afectando la viabilidad. Por lo tanto determinar el tipo de semilla (recalcitrante ortodoxa o intermedia) permitirá su conservación *ex situ* como una estrategia de garantizar la permanencia de los sistemas de producción.

### 9.1. Bancos de Germoplasma que Conservan Pasifloras

Diversas instituciones en algunos países desarrollan programas de conservación de germoplasma de muchas accesiones de pasifloras; en la Figura 6 se aprecia la cantidad de accesiones conservadas por países.



**Figura 6.** Número de accesiones de pasifloras conservadas en bancos de germoplasma a nivel mundial.  
**Fuente:** Pinto, *et al.* (2004), Ferreira (2005), Yockteng, *et al.* (2011) & Ocampo & Urrea (2012).

A nivel nacional diversas instituciones tienen bancos de germoplasma en forma de semilla e in vivo:

- Universidad Nacional de Colombia sede Palmira: en forma de semilla 70 accesiones para 40 especies.
- Universidad de Nariño: 47 accesiones de 12 diferentes especies compuesto principalmente de *P. mollissima* (curubas) en San Juan de Pasto (Nariño).
- Universidad de Caldas in vivo tiene 80 accesiones para dos especies (granadilla y gulupa)
- Casa Luker tiene 50 accesiones para una especie (maracuyá) in vivo localizada en la granja Luker en Caldas.
- Corpoica: 141 accesiones de pasifloras de las cuales dos son de gulupa y 26 de granadilla, en forma de semilla en Rionegro (Antioquia).

***Colecciones privadas:***

Además se debe destacar la labor de personas que poseen colecciones privadas de diferentes especies de pasifloras conservadas en invernaderos simulando las condiciones climáticas del trópico donde reportan un número aproximado de 500 accesiones.

- Ron Bounder (USA)
- Maurizio Vecchia (Italia)
- Henk Wouters (Holanda)
- Torster Ulmer (Alemania)
- Christian Houel (Francia)

**10. Zonificación agroecológica**

Uno de los aspectos básicos para lograr la competitividad y sostenibilidad de la agricultura es la ubicación adecuada de los cultivos de manera que se logre condiciones agroecológicas y socioeconómicas apropiadas para una producción eficiente y sostenida. De acuerdo con la FAO (1995), el manejo sostenible de las tierras debe cumplir cuatro requisitos principales: se debe mantener la producción, los riesgos se deben limitar, la calidad de las tierras y del agua se debe mantener, y el sistema debe ser económica y socialmente aceptable. Debido a que las áreas cultivables presentan una gran variabilidad de características edáficas, climáticas, sociales y económicas, la zonificación es una estrategia importante para establecer cuáles son las áreas más apropiadas para un cultivo, identificar aquellas marginales, así como las que presentan limitantes que impidan el establecimiento del cultivo (Martínez *et al.*, 2009).



La zonificación agroecológica considera la diferenciación de los espacios encontrados en un ecosistema, de acuerdo a las variables que afectan directamente al uso de la tierra. La zonificación permite así, planificar no solo los sistemas de producción más apropiados, sino las prioridades de investigación y facilitar la extensión de los resultados (Tapia, 1996.).

Por otra parte, también se utilizan sensores remotos en la agricultura, centrándose principalmente en la evaluación de la extensión de las áreas cultivadas y el rendimiento de los cultivos (French *et al.*, 2008). Igualmente, en varias aplicaciones relacionadas con el rendimiento como: la discriminación de cultivos presentes en una región, el manejo de los ciclos fenológicos. La evaluación de las condiciones del cultivo en términos de nutrición, ataque de plagas y enfermedades: el estado hídrico, la variabilidad y fertilidad del suelo entre los más importantes (Tsiligirides, 2008).

No hay estudios sobre la definición de zonas agroecológicas a escala nacional para el maracuyá, la granadilla y la gulupa, que permitan a los productores desarrollar sus cultivos de acuerdo a las diferentes condiciones ambientales (clima, suelos, etc) de Colombia, las cuales son muy heterogéneas, además de los cambios climáticos que han sucedido y así optimizar su producción y de igual forma el efecto que tenga este cambio climático sobre los cultivos para el año 2050 no se ha modelado, siendo así esta investigación una iniciativa para que el sector productivo la utilice como herramienta en la toma de decisiones.

### **11. *Passiflora*, investigación y perspectivas, en Colombia y en la región andina**

Hay poca información sobre los estudios disponibles en frutas de la pasión andinas. Esto debe ser generado por medio de pruebas comparativas en las áreas donde estas especies están disponibles. Las instituciones de investigación en Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela podrían proporcionar información que puede ser útil como base para el desarrollo industrial. El futuro de estas frutas dependerá del desarrollo de la horticultura. La producción de pulpa y concentrado tiene muy buenas perspectivas si la producción a escala comercial puede ser establecida y mantenida (Coppens d'Eeckenbrugge, 2003).

En los últimos diez años, las instituciones de los países andinos, agrupadas en una red promovida por Bioversity International (antes IPGRI), han iniciado una exploración sistemática de los recursos genéticos de especies de passifloras andinas, que ha permitido la constitución de las colecciones de las especies más comunes. Hoy en día, existen importantes colecciones en los cinco países: Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Los científicos de la región han investigado la variabilidad genética de las curubas cultivadas y especies silvestres relacionadas,

la creación de las bases para los programas de mejora genética convencional. Sin embargo, esfuerzos similares en las especies de clima cálido sólo se han llevado a cabo en Brasil.

Los principales problemas encontrados a lo largo de estos esfuerzos de investigación sobre los recursos genéticos de las frutas de la pasión han incluido la dificultad de acercarse a una gran diversidad morfológica y genética, tanto a nivel intra e interespecíficas, relacionados con problemas taxonómicos y contradicciones, y los problemas prácticos para su conservación eficaz. Las adaptaciones específicas y un alto nivel de endemismo de las especies procedentes de una amplia gama de hábitats hace necesario imponer estrategias de conservación in situ, lo que implica un buen conocimiento de la distribución de las diferentes especies y el reparto de su diversidad.

En Colombia, varios proyectos de colaboración se han centrado en *Passifloraceae*. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha apoyado un proyecto regional, coordinado por el IPGRI 1994-1997. Colciencias financió en el período 1999-2001 el proyecto nacional "Conservación y utilización de los Recursos genéticos de pasifloras", desarrollado por científicos franceses y colombianos en la oficina del IPGRI-Américas. En 2004, el mismo grupo realizó un estudio de la diversidad de las *Passifloraceae* y *Caricaceae* en la zona cafetera colombiana. Todos estos proyectos han generado una cantidad considerable de información sobre la morfología, citología, palinología, la diversidad molecular y biogeografía de las Pasifloras, el fortalecimiento de las colecciones nacionales y el proyecto "Aprovechamiento de la diversidad del maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener), la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims) y la granadilla (*P. ligularis* Juss.) para mejorar y diversificar los sistemas de producción en Colombia" financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia – MADR, que es el que ha proporcionado la mayor parte del material para el desarrollo de esta tesis.

## **12. Estructura de la tesis**

El objetivo del presente trabajo es aplicar los protocolos para determinar el comportamiento de la semilla y un enfoque metodológico para la zonificación potencial actual y a futuro (efecto cambio climático) de las áreas con fines de la producción comercial del maracuyá, la granadilla y la gulupa, además de discutir si la interacción del genotipo con el ambiente influye en la respuesta del cultivo en el tipo de semilla y en la adaptación en la actualidad y en el futuro; todo en el marco del proyecto de investigación "Aprovechamiento de la diversidad del maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener), la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims) y la granadilla (*P. ligularis* Juss.) para mejorar y diversificar los sistemas de producción en Colombia" financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia - MADR. La metodología

propuesta integra protocolos validados y estandarizados a nivel de laboratorio, indicadores del cultivo (calidad de los frutos, Sólidos Solubles Totales-SST y rendimiento), estado fitosanitario, y tecnologías modernas como los sistemas de información geográfica (SIG), imágenes de sensores remotos y modelos digitales de elevación (DEM), incorporando el análisis basados en datos climatológicos (WorldClim) como base para definir el tipo de semilla, las clases y los grados de limitación de cada característica de cada zona agroecológica. La metodología y resultados de la investigación se encuentran en el segundo y tercer capítulo, el segundo capítulo habla sobre la definición del tipo de semillas y el tercero sobre la zonificación agroecológica de tres especies de *Passiflora* como son el maracuyá la granadilla y la gulupa.

## Capítulo II

---

### Estudios relacionados con el comportamiento de las semillas en maracuyá, granadilla y gulupa como estrategia para su conservación

Paula Posada<sup>1,2,3</sup>, John Ocampo<sup>1,2,4</sup>, Luis Guillermo Santos<sup>4</sup>,

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia sede Palmira

<sup>2</sup>Centro de *Bio-sistemas*/Universidad Jorge Tadeo Lozano

<sup>3</sup>Bioversity International

<sup>4</sup>Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT

#### Resumen

El maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener), la granadilla (*P. ligularis* Juss.) y la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims ) son las principales especies del género *Passiflora* por su importancia económica, ya que sus frutos son comercializados tanto a nivel nacional e internacional como fruta fresca y procesada. Estas especies son cultivadas en aproximadamente 11.000 has y generan cerca de 210 jornales rurales/ha/año. A pesar de este potencial, no existe información sobre el comportamiento fisiológico de la semilla para su conservación, que permita a los productores recomendaciones adecuadas para preservar los mejores genotipos. El objetivo de esta investigación es aplicar protocolos y estrategias para la conservación *ex situ* de las semillas del maracuyá, la granadilla y la gulupa mediante la evaluación de los procesos germinativos y del comportamiento fisiológico de diferentes accesiones colectadas en Colombia. Esta investigación fue realizada en los laboratorios del Programa de Recursos Genéticos del CIAT (1.000 m.s.n.m) durante los años 2009 y 2011. Un diseño experimental completamente al azar con cuatro a cinco tratamientos con tres repeticiones, y una muestra de 70 unidades experimentales para determinar los porcentajes de germinación. El comportamiento fisiológico de la semilla durante la conservación se determinó siguiendo el protocolo de Hong & Ellis (1996) bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa. Un primer ensayo, determina que el papel de germinación no es adecuado para las semillas de la granadilla y la gulupa. Por otro lado, cuando se empleó un sustrato de arena los porcentajes de germinación fueron de 87, 59 y 71% en las tres especies (sin diferencias significativas), durante un periodo de 30 días y con una humedad inicial de 22,4, 37,4 y 22,1%. Un segundo ensayo, establece que el método de secado de semillas en cámaras con flujo continuo de aire la humedad disminuyó al rango óptimo en 65 horas para el maracuyá y la gulupa, y 125 horas para la granadilla. En un tercer ensayo, cuando las semillas se conservaron en refrigeración (bolsas de aluminio, 4-6°C) durante 1, 3, 6, y 24 meses, la germinación promedio para el maracuyá fue del 91%, en la granadilla 63% y para la gulupa 77%. Por el contrario, cuando fueron conservadas en condiciones ambientales y en bolsas de papel durante 24 meses la germinación (< 40%) y el

vigor de las plántulas se afectó en granadilla y gulupa. Los resultados sugieren, que la semilla del maracuyá, la granadilla y la gulupa presentan un comportamiento ortodoxo frente al almacenamiento. El mejor tratamiento para realizar la conservación de las semillas es el secado con el flujo continuo de aire y posteriormente el almacenamiento en condiciones bajo cero en empaques herméticos, evitando que la semilla sufra daños fisiológicos y mantengan los porcentajes óptimos de germinación (> 80%). Estos resultados, recomiendan a los productores conservar las semillas en condiciones de refrigeración (4 a 6°C), por un tiempo no superior a 12 meses para la granadilla y gulupa, y 24 para el maracuyá.

**Palabras clave:** *Passiflora*, semilla, germinación, conservación, recurso genético.

### **Abstract**

The yellow passion fruit (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener), sweet passion fruit (*P. ligularis* Juss.) And purple passion fruit (*P. edulis* f. *edulis* Sims) are the main species of the genus *Passiflora* for the economic importance, because its fruits are marketed both domestically and internationally as fresh fruit and processed. These species are cultivated in about 11.000 has and generate about 210 rural wages/ha/year. Despite this potential, not information on the physiological behavior of the seed for conservation, allowing producers appropriate recommendations to preserve the best genotypes. The objective of this research is to apply protocols and strategies for *ex situ* conservation of seeds of passion fruit, sweet passion fruit and purple passion fruit by evaluating the processes of germination and physiological behavior of different accessions collected in Colombia. This research was performed in the laboratories of Genetic Resources Program of CIAT (1.000 m.a.s.l.) during the years 2009 and 2011. A completely randomized design with four to five treatments with three replicates, and a sample of 70 experimental units to determine the percentage of germination. The physiological behavior of the seed during storage was determined following the protocol of Hong & Ellis (1996) under controlled conditions of temperature and relative humidity. A first test determines that the paper is not suitable for germinating seeds and gulupa passionfruit. Furthermore, when a substrate of sand employment germination percentages were 87, 59 and 71% in the three species (no significant difference), for a period of 30 days and an initial moisture of 22,4, 37,4 and 22,1%. A second trial, states that the method of drying seeds in chambers with continuous flow of air humidity decreased to 65 hours in optimal range for passion fruit and gulupa, and 125 hours for passion. In a third trial, when the seeds were stored under refrigeration (aluminum bags, 4-6 ° C) for 1, 3, 6, and 24 months, the average germination for passion fruit was 91%, in sweet passion fruit 63% and for purple passion fruit 77%. By contrast, when environmental conditions were conserved in paper bags and 24 months germination (<40%) and seedling vigor and passion are affected in purple passion fruit. The results suggest that the seeds of yellow passion fruit, sweet

passion fruit and purple passion fruit presented an orthodox behavior versus storage. The best treatment for the preservation of the seeds is the drying air flow and subsequently continuous storage under freezing in airtight packaging to avoid physiological damage to the seed and maintaining optimum germination percentages (> 80%). These results, recommend to save seed producers under refrigeration (4-6 °C) for a period not exceeding 12 months for passion and gulupa, and 24 for the passion fruit.

**Keywords:** Passiflora, seed, germination, conservation, genetic resource.

## **1. Introducción**

El maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener) es originario de la región amazónica de Brasil y se encuentra distribuido en los países tropicales de América, la granadilla (*P. ligularis* Juss.) es originaria de los andes tropicales, naturalmente está distribuida desde Venezuela hasta Bolivia y la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims) tiene su centro de origen en el sur de Brasil, norte de Argentina y Paraguay (Killip, 1938) siendo cultivada en países como Kenia y Australia.

Estas tres especies son las principales del género *Passiflora* (Figura 1) por su importancia económica, ya que sus frutos son comercializados tanto a nivel nacional e internacional como fruta fresca y procesada (Ocampo, 2007). Estas especies son cultivadas en aproximadamente 11.000 has en Colombia generando cerca de 210 jornales rurales/ha/año. A pesar de este potencial, no existe información sobre el comportamiento fisiológico de la semilla para su conservación, que permita a los productores recomendaciones adecuadas con técnicas artesanales para preservar los genotipos. El genotipo de una especie vegetal es parte de una diversidad genética, que posee un valor para el presente o el futuro, estos son los recursos fitogenéticos que constituyen un patrimonio de la humanidad de valor incalculable y su pérdida es un proceso irreversible que supone una grave amenaza para la estabilidad de los ecosistemas, el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria del mundo (Martín, 2001).



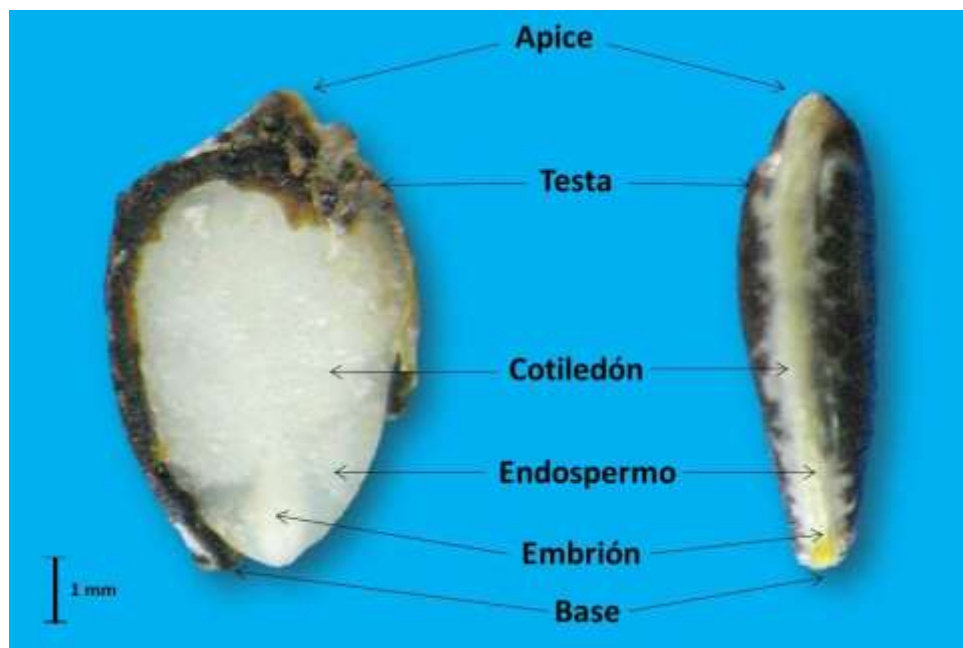
**Figura 1.** Frutos de maracuyá (color amarillo), granadilla (color anaranjado) y gulupa (color purpura). Foto: John Ocampo

La conservación de estos Recursos Fitogenéticos tiene dos tipos de enfoques: *in situ* y *ex situ*, la conservación *in situ* comprende la conservación dentro de los ecosistemas y los hábitats naturales para que las especies silvestres puedan continuar con su evolución, y para las especies cultivadas en las granjas de agricultores. La conservación *ex situ* se orienta en el mantenimiento del material o germoplasma fuera de sus hábitats naturales ya sea en jardines botánicos, en bancos de semillas, colecciones de campo, explantes *in vitro*, bancos de polen, ADN, etc. (Hong & Ellis., 1996).

La conservación de semillas por tratarse de un método práctico y económico es el preferido para conservar el 90% de los seis millones de accesiones mantenidos en colecciones *ex situ* en todo el mundo; el comportamiento fisiológico en almacenamiento de las semillas de una especie y su longevidad determinan cómo conservarlas (Hong & Ellis., 1996), cabe resaltar algunas capacidades de las semillas a la hora de estudiar su comportamiento, como es el caso de la higroscopicidad que es la capacidad de variar el contenido de humedad de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente donde se encuentran. El grano puede ganar humedad (absorción) o perder humedad (desorción). Para cada combinación de temperatura y humedad relativa del aire, existe un contenido de humedad del grano que se mantiene en equilibrio con esa temperatura y humedad relativa; ese contenido de humedad es denominado "humedad de equilibrio del grano" (FAO, 1993). Debido a que las semillas que se van a conservar deben soportar continuos secados antes de su almacenamiento, cabe aclarar que los bancos de germoplasma de semillas usan las ortodoxas, ya que las recalcitrantes no soportan el secado y se deben emplear otros métodos para su almacenamiento como yemas, callos, etc. (Rao *et al.*, 2007). Semillas ortodoxas son aquellas que se pueden secar sin daño a bajos contenidos de humedad, su longevidad aumenta con la disminución del contenido de humedad de la semilla y la temperatura de almacenamiento (Roberts, 1973). Las semillas maduras pueden sobrevivir a la desecación de los contenidos de humedad, por lo menos del 2 a 6% (Ellis & Roberts, 1980). Igualmente al disminuir la temperatura a bajo cero entre -18 y -20°C las semillas pueden perdurar por periodos mayores de 10 años sin afectarse su viabilidad (Hong *et al.*, 1998). Además, de las semillas ortodoxas están las semillas intermedias, las no permiten disminuir a menos del 12 o 10% la humedad y la temperatura de 5 a 15°C. Por último están las semillas recalcitrantes que cuando se empiezan a desecar su viabilidad se reduce < 20% (Hong *et al.*, 1998). Por esta razón identificar el comportamiento fisiológico de la semilla (protocolo Hong & Ellis, 1996) de especies de interés agronómico, económico, ambiental, etc., es de suma importancia en la conservación de los recursos genéticos. Este es el caso de las pasifloras, especies que tienen tanto importancia económica como ecológica para Colombia, donde parte de su germoplasma se está perdiendo por el daño a los ecosistemas, carecer de programas que brinden conocimiento y la conservación de las semillas. La forma usual de las semillas *passiflora* (Figura 2) es usualmente aplanada, con testa gruesa, de color negro o marrón, esculpida



variadamente en reticulaciones, surcos y alvéolos. El embrión es recto y se encuentra dentro de un endospermo abundante, el ápice con un cuerno central prominente entre dos laterales y base aguda (Maciel *et al.*, 1997; Pérez, 2007).



**Figura 2.** Anatomía de la semilla de granadilla. Foto: John Ocampo.

La identificación del tipo de semilla se realiza siguiendo el protocolo de Hong & Ellis (1996) el cual establece una serie de pasos de disminución de la humedad interna de las semillas y ejecución de pruebas de viabilidad (ISTA, 2009), en las cuales se determina su tipo de acuerdo a los porcentajes de germinación de plantas normales que se obtengan después de cada secado, y así determinar el método más apropiado para la conservación del germoplasma en semillas. La determinación de la viabilidad se realiza mediante pruebas de germinación de las semillas, el objetivo de estas pruebas es determinar en porcentaje la máxima germinación potencial de un lote de semillas determinado, que puede ser usado a su vez para comparar la calidad de diferentes lotes y también estimar si un lote de semillas conservado debe ser llevado a campo (siembra y obtención de cosecha) para renovación (ISTA, 2009). Las pruebas de semillas con métodos de laboratorio se realizan bajo condiciones controladas de temperaturas y humedad relativa, para obtener una germinación más regular, rápida y completa para la mayoría de las especies, las condiciones se han estandarizado para permitir resultados de las pruebas que se puedan reproducir dentro de los límites lo más cerca posible a las determinadas por la variación de la muestra aleatoria; los medios de germinación pueden ser papel, arena o sustrato orgánico (ISTA, 2009). Las pruebas de germinación en el laboratorio identifican como son las fases de germinación, el porcentaje de plántulas normales y el desarrollo de la plántula en un tiempo

determinado según la especie, e indican según su estructura si es o no capaz de desarrollarse satisfactoriamente en condiciones favorables en el suelo (ISTA, 2009). Además de las pruebas de germinación se deben realizar pruebas de vigor de las semillas; el vigor es la suma de las propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de la semilla o del lote de semillas durante la germinación y emergencia de la plántula en una amplia gama de ambientes y/o el potencial de almacenamiento (Perry, 1981; ISTA, 2009). El vigor de la semilla no es una propiedad única medible, es un concepto que describe varias características asociadas a algunos aspectos del desempeño de las semillas como son: la tasa y uniformidad de la germinación de las semillas y crecimiento de las plántulas, capacidad de emergencia de las semillas bajo condiciones ambientales desfavorables, el rendimiento después del almacenamiento, en particular, la retención de la capacidad de germinar (Perry, 1981; ISTA, 2009). Se usa la velocidad de crecimiento de la plántula estimándose frecuentemente, midiendo las plantas después de un determinado periodo, la característica más frecuentemente utilizada para determinar vigor de la semilla es el porcentaje de plántulas que emergen en el campo a partir de una densidad dada; las semillas menos vigorosas tienen normalmente una velocidad media de germinación más baja, así como una más amplia distribución de la velocidad de germinación individual que las semillas de alto vigor (Perry, 1981). Tal como lo menciona Delouche (1976), el deterioro de las semillas ya sea por el almacenamiento o por el transcurso del tiempo de las semillas es algo inexorable, irreversible, el cual es variable entre especies, entre semillas de una misma especie; este ocasiona daños en la funciones vitales de la semilla. Según Aristizábal & Álvarez (2006), estos daños o transformaciones degenerativas en la semilla ocurren en la siguiente secuencia: (1) degeneración de las membranas celulares y posterior pérdida del control de la permeabilidad celular; (2) daños en los mecanismos de producción energética y de biosíntesis, (3) reducción de la actividad respiratoria y de biosíntesis, (4) germinación más lenta, (4) reducción del potencial de almacenamiento, crecimiento y desarrollo de la planta más lentos, (5) menor uniformidad en el crecimiento y desarrollo de las plantas, (6) mayor susceptibilidad a factores ambientales adversos, reducción del potencial para el establecimiento de una población de plantas, (7) mayor porcentaje de plántulas anormales y (8) pérdida del poder germinativo.

En esta investigación la medición del vigor o velocidad media de germinación se determina mediante la fórmula de Maguire (1962), la cual se calcula sumando el número de semillas germinadas de cada día, dividido por el número de días entre la siembra y la germinación de cada semilla. Es de suma importancia conocer si la colección de germoplasma conservado contiene semillas viables y vigorosas para su plantación en el campo, ya que de no ser así no están almacenadas en las condiciones adecuadas, y por lo tanto se debe realizar la regeneración de los lotes, la cual se debe hacer en condiciones óptimas para mantener su integridad genética y maximizar su longevidad para la conservación (ISTA, 2009).

La conservación de los recursos genéticos de las especies de pasiflora estudiadas en esta tesis, son de gran importancia para los agricultores por ser cultivos básicamente de economía campesina y además son de las principales especies frutales de comercialización en el país. Es así como al seleccionar las semillas de los mejores frutos podrán conservar las características que deseen prolongar en sus siguientes ciclos de cultivo. También se puede resaltar las propiedades nutricionales de las semillas de pasifloras (fibra, carbohidratos, proteínas minerales) que pueden ser utilizadas en alimentación animal con adición de otras proteínas, de igual forma el aceite extraído de sus semillas luego de ser refinado puede ser utilizado y ser de una calidad premium tal como se usa el de canola, girasol, etc., y por su contenido de ácidos grasos (palmítico, esteárico, oleico, linoléico) es posible la fabricación de margarinas (Liu *et al.*, 2008, Cerón *et al.*, 2012). De la misma forma, la fibra que contienen las semillas puede ser una alternativa para adicionar a los alimentos dietéticos con el fin de que aporten fibra ya que además son bajas en calorías y como hay gran disponibilidad de ellas por los subproductos de la producción de jugos sería una gran opción alimentaria (Chau & Huang, 2004).

Esta investigación pretende orientar sobre el manejo de estas semillas, ya que los estudios no precisan en los protocolos de almacenamiento ni el comportamiento fisiológico. Entre estos estudios se encuentra el “Compendio del Comportamiento en Almacenamiento de las Semillas” (Hong *et al.*, 1998) del IPGRI (actualmente Bioversity) que señala el comportamiento intermedio o posiblemente intermedio para la taxa del género *Passiflora* L. Ospina *et al.* (2000) quienes afirmaron durante su investigación que las semillas de maracuyá presentaron comportamiento intermedio y las de granadilla ortodoxo, Torres (2007) señala que el maracuyá es probablemente ortodoxo, por otro lado se encuentran estudios sobre criopreservación en maracuyá, granadilla y curuba donde la primera especie no soportó muy bien este tratamiento viabilidad del 72% (Guevara *et al.*, 2003), y tratamientos pregerminativos en granadilla indicando que el factor más determinante en la germinación de las semillas fue la temperatura (Cárdenas, 2011) pero todos estos fueron realizados solo a condiciones de laboratorio y el principal fin de esta investigación es generar conocimiento para transmitir a los productores del país, de cómo pueden manejar y conservar los recursos genéticos de sus cultivos, además se debe tener en cuenta que la propagación por medio de las semillas garantiza plantas con mejor calidad sanitaria ya que los principales virus no son transmitidos a través de las semillas (Costa *et al.*, 2010).

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Área de estudio**

Esta investigación fue realizada en los laboratorios del Programa de Recursos Genéticos (a unas condiciones de 22-23°C de temperatura y 50 a 60% Humedad relativa) del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ubicado en el municipio de Palmira a 980 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 23°C, una precipitación promedio de 1.010 mm anuales y una humedad relativa que fluctúa entre el 65 y 75%. Se estudiaron semillas de tres especies de *Passiflora*, maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa*), granadilla (*P. ligularis*) y gulupa (*P. edulis* f. *edulis*), especies de gran importancia económica para el país.

### **2.2. Material vegetal**

Las semillas utilizadas provinieron de frutos colectados por Ocampo *et al.* (2009) en campos de productores y también de la colección nacional (Granja Tesorito UCaldas y Casa Luker). Las que fueron obtenidas de los campos de productores fueron conservadas a dos años (a 4°C y unas repeticiones de estas al ambiente) para realizar el estudio de conservación a largo plazo; las obtenidas de la colección nacional fueron utilizadas para el resto de estudios que requerían semillas frescas. Estas colectas fueron realizadas en el marco del proyecto “Aprovechamiento de la diversidad del maracuyá, la gulupa y la granadilla para mejorar y diversificar los sistemas de producción en Colombia” del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR. En la Tabla 1 se aprecian los departamentos en los cuales se realizaron colectas de cada especie.

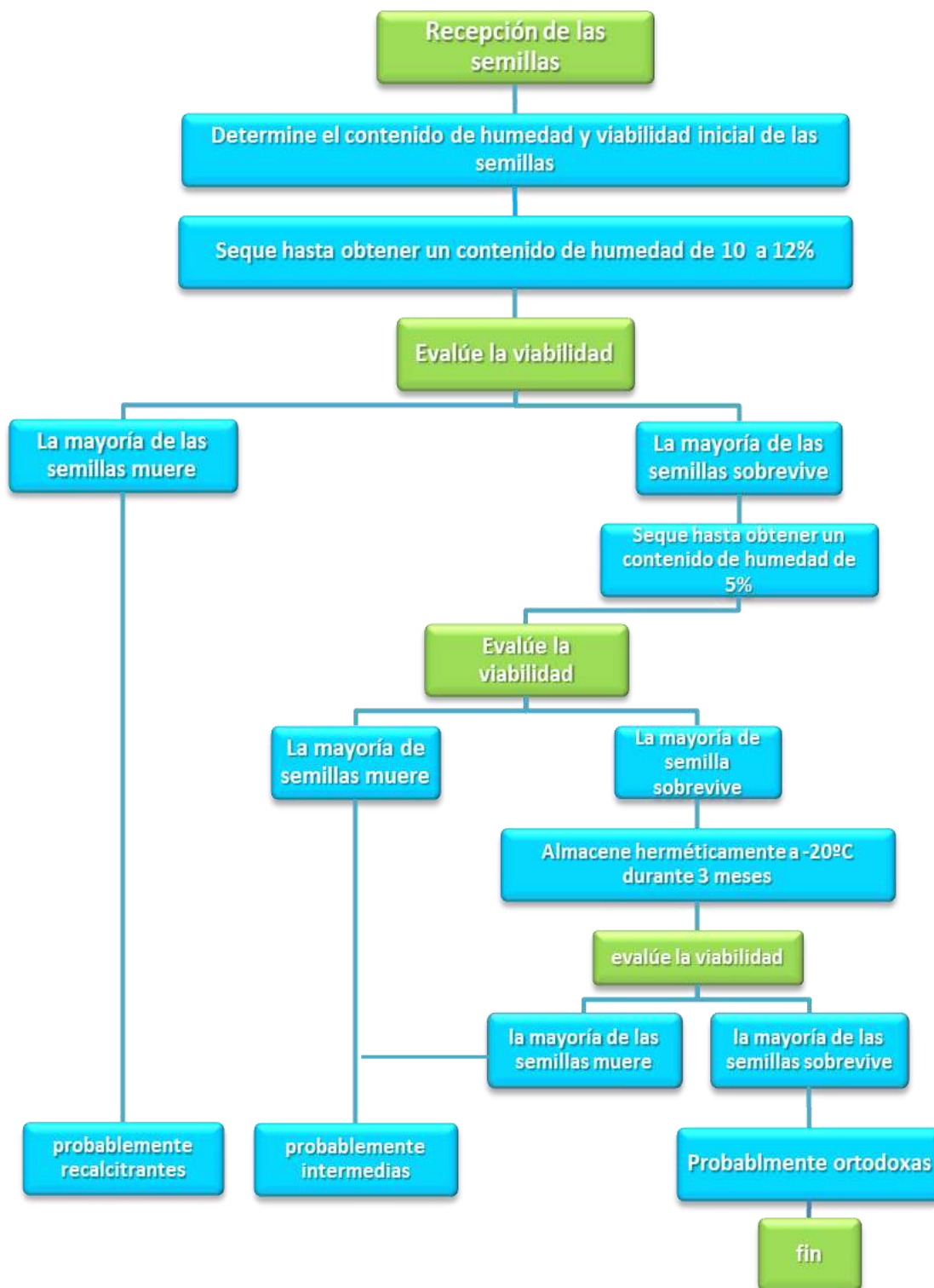
**Tabla 1.** Departamentos en los cuales se realizaron colectas de fruto para conservar semillas en el año 2009 y numero de accesiones colectadas.

<b>Especie</b>	<b>Departamento</b>	<b>Código</b>	<b>No. accesiones</b>
<b>Maracuyá</b>	Valle del Cauca	ValFla	11
	Tolima	TolFla	7
	Huila	HuiFla	6
	Caldas	CalFla	5
	Cauca	CuaFLa	3
	Antioquia	AntFla	5
<b>Total</b>			<b>37</b>
<b>Granadilla</b>	Boyacá	BoyLig	5
	Valle del Cauca	ValLig	7
	Cundinamarca	CunLig	6
	Tolima	TolLig	3
	Huila	HuiLig	7
	Putumayo	PutLig	1
	Caldas	CalLig	7
	Antioquia	AntLig	3
	Quindío	QuiLig	5
	Risaralda	RisLig	4
<b>Total</b>			<b>48</b>
<b>Gulupa</b>	Boyacá	BoyEdu	5
	Cundinamarca	CunEdu	3
	Tolima	TolEdu	2
	Huila	HuiEdu	4
	Putumayo	PutEdu	1
	Antioquia	AntEdu	4
	Quindío	QuiEdu	2
	Risaralda	RisEdu	1
	Caldas	CalEdu	1
	Valle del Cauca	ValEdu	1
<b>Total</b>			<b>28</b>

### **2.3. Métodos**

Para lograr determinar el comportamiento fisiológico del maracuyá, la granadilla y la gulupa se desarrollaron protocolos prácticos que permitan a los agricultores conservar las semillas de estas especies de pasiflora con óptimas condiciones fisiológicas de un ciclo de cultivo al otro.

Se realizó una serie de experimentos con diferentes tratamientos al alcance de los agricultores, y por otro lado, la identificación del comportamiento fisiológico de las semillas con base en el protocolo de Hong & Ellis (1996) a nivel de laboratorio, que establece una serie de procesos para definir ese comportamiento de la semilla de una especie para su conservación (Figura 3).

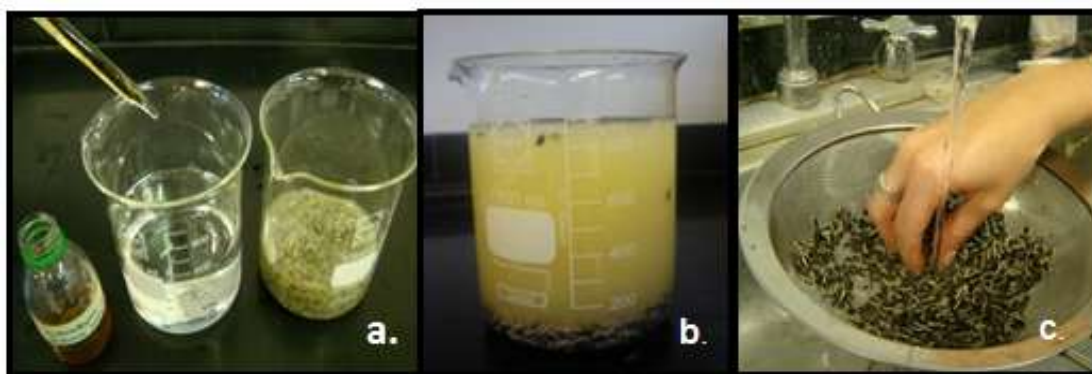


**Figura 3.** Esquema del Protocolo para determinar el comportamiento de las semillas en almacenamiento. Fuente: Hong & Ellis (1996).

### 2.3.1 Preparación de las semillas: Protocolo para extracción de las semillas para los ensayos

El protocolo empleado para la extracción y siembra de todas las semillas se realizó de la siguiente manera:

- a. En primera instancia se tomaron los frutos y se extrajo la pulpa con la semilla. Para retirar el mucílago, se mezcló la pulpa con agua a una relación de 1ml de enzima (**Citrozym® Ultra L**) por 500 ml de agua, y finalmente se lavan las semillas. Este proceso toma un tiempo de 2 horas y se debe agitar por lo menos cada media hora (Figura 4).



**Figura 4.** a. Preparación de la mezcla de agua con enzima; b. Extracción de la pulpa por medio de la enzima. c. Lavado final de las semillas. Fotos: Paula Posada y John Ocampo.

- b. Después de tener la semilla limpia se la sometió a un secado (Figura 5) al ambiente donde no recibió sol directo por un tiempo de 10 minutos. En la Figura 6 se aprecia la apariencia de las semillas de cada una de las especies estudiadas sin presencia del arilo.



**Figura 5.** Secado al aire libre de las semillas. Foto: Paula Posada y John Ocampo.



**Figura 6.** Apariencia de las semillas después de un lavado **a.** maracuyá, **b.** granadilla, **c.** gulupa. Foto: John Ocampo.

- c. La determinación del porcentaje de humedad de semilla para los ensayos 1, 2, 6 y 7 se realizó analizando 1 gramo, el cual primero se trituró y luego se dispuso en la termobalanza (Figura 7), este proceso toma unos 20 minutos (solo para los ensayos 3,4 y 5 se hizo con diferencias de peso, con la Formula 1)



**Figura 7.** Termobalanza y molino eléctrico para determinar el % de humedad, PRG, CIAT. Foto: Paula Posada

**Fórmula 1.** Determinación del % de humedad de las semillas por diferencia de peso

$$\%humedad = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial} \times 100$$



### 2.3.2. Pruebas de germinación

Las pruebas de germinación se realizaron durante 30 días (conteo de plántulas normales germinadas cada 48 horas). Según norma de ISTA (2009) una accesión tiene buen porcentaje de viabilidad cuando la germinación es mayor al 85%. En las pasifloras por ser poco domesticadas se fue más flexible con este límite, reconociendo que una accesión tiene buen porcentaje de viabilidad cuando su germinación es mayor al 80%, dado que estas presentan asincronía en la germinación y puede que demoren más de los 30 días en germinar, incluso meses.

### 2.3.3. Ensayo 1: Prueba piloto para seleccionar el mejor sustrato de germinación con semillas en fresco: papel y arena

En este caso se evaluaron dos métodos de germinación con el fin de seleccionar el mejor sustrato, uno es en papel de germinación y el otro en arena estéril (Figura 8).

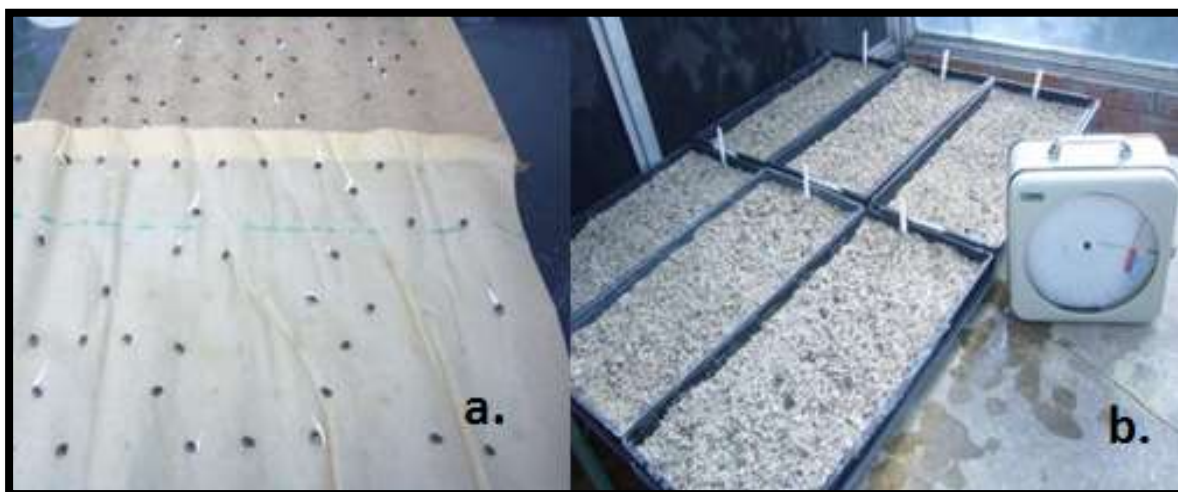


Figura 8. a. Sustratos de germinación de papel b. Sustrato de germinación de arena. Foto: Paula Posada

#### 2.3.3.1. Siembra en papel y almacenamiento en cámaras

El primer método que se ensayó fue el papel de germinación (Anchor Paper®), que se impregnó en fungicida *Banrot*® a una concentración de 2g/litro de agua. Se almacenaron en las cámaras de germinación; las semillas de maracuyá con 8 horas de fotoperiodo a 28°C y  $\pm 75\%$  de humedad relativa y las de granadilla y gulupa con 12 horas de fotoperiodo a 22°C y  $\pm 60\%$  de

humedad relativa. Cada 48 horas se humedecían los rollos de papel para evitar su deterioro por estrés hídrico.

### **2.3.3.2. Siembra en Arena**

Se utilizó arena de río cernida tratada con vapor a 121°C durante 4 horas. La semilla se sembró en bandejas de plástico a 2 cm de profundidad (Figura 9) el riego se realizaba cada 24 horas o cuando era necesario. Las condiciones de siembra para el maracuyá fueron de una temperatura promedio de 23°C y humedad relativa promedio de 73%, según condiciones ambientales del sitio del ensayo. Para granadilla y gulupa se manejaron condiciones controladas en invernadero de 23,8°C y 86,4% de humedad relativa, debido a que son pasifloras de altura y su ecofisiología es diferente a la zona donde se estableció el ensayo.



**Figura 9 a.** Plantilla para siembra y **b.** Siembra de las semillas en arena. Foto: Paula Posada.

### **2.3.4. Ensayo 2: Almacenamiento al ambiente de las semillas durante 4, 8 ,12 y 16 días y evaluación de la germinación para cada periodo**

El secado al ambiente se realizó a 1.100 m.s.n.m y temperatura promedio de 23°C, para los siguientes ensayos:

Almacenamiento al ambiente durante 16 días a 1.100 m.s.n.m y una temperatura promedio de 23°C; se evaluó diariamente la humedad y la germinación cada 4 días. Las semillas se dispusieron en cajas de madera con maya en la parte inferior para permitir la circulación del aire (Figura 10).



**Figura 10.** Cajas de madera con maya al inferior utilizadas para el secado de las semillas al ambiente. Foto: Paula Posada.

**2.3.5. Ensayo 3, 4 y 5: Secado de semillas con sal (NaCl-Cloruro de sodio), arroz caliente y sílica gel.**

En estos tres ensayos de secado se utilizaron sustratos que se estiman tienen capacidad higroscópica de extraer la humedad de las semillas así: se utilizó sal para el ensayo No. 3, arroz para el ensayo No. 4 y sílica gel para el ensayo No. 5. En todos los ensayos se utilizó tres concentraciones diferentes semilla: sustrato de acuerdo al peso de las semillas (1:1, 1:2, 1:3). Se midió diariamente por diferencias de peso la pérdida de humedad en las semillas durante un periodo de 8 días. Los medios deshidratantes se sometían diariamente a secado al horno a 100°C durante 10 min. y se almacenaban en cajas plásticas con mallas metálicas para permitir la extracción de la humedad (Figura 11); estas pruebas solo fueron realizadas para las semillas de maracuyá y granadilla. Puesto que las semillas de gulupa se comportan muy similar a las de maracuyá de acuerdo a los secados con flujo continuo de aire realizados para el ensayo 6, por eso no se realizó con esta especie la prueba.



**Figura 11.** Cajas para secado de semillas con sal, arroz y sílica gel. Foto: Paula Posada.

**2.3.6. Ensayo 6: Almacenamiento de semillas al ambiente durante un periodo de 6 meses evaluando los porcentajes de germinación y humedad a 1, 3 y 6 meses.**

Para este ensayo se realizó un almacenamiento de las semillas al ambiente durante 6 meses; evaluando la humedad y la germinación en los meses 1, 3 y 6. Las semillas se dispusieron en cajas de madera con mallas en la parte inferior para facilitar la circulación del aire al igual que se realizó para el ensayo 2.

**2.3.7. Ensayo 7: Secado de las semillas y almacenamiento a 6 meses para determinar el comportamiento fisiológico (protocolo de Hong & Ellis, 1996).**

Para este ensayo se realizó el secado con técnicas de laboratorio; cuando la semilla está recién extraída del fruto en cámaras de secado a 22°C - 35% HR (humedad relativa) para disminuir su humedad al 12 ó 10%. Finalizado este proceso se pasó las semillas al secador de 21°C - 10% HR para alcanzar una humedad final del 6 ó 5% (Figura 12). Por medio de revisiones periódicas y medición de la humedad con la termobalanza se determinó el tiempo de secado. Los tiempos de secado variaron de acuerdo a la humedad que define el protocolo de Hong & Ellis (1996); de 10 a 12% para almacenamiento a corto plazo y de 5 a 6% para largo plazo, el secado se realizó con flujos de aire fresco a frío ya que no es la temperatura que permite el secado sino la circulación del aire que retira la humedad de la semilla.



**Figuras 12 a.** Secador de 22°C y 35%HR y **b.** Secador de 21°C y 10%HR. Foto: Paula Posada.

Luego de someter al secado las semillas para seguir con el protocolo de Hong & Ellis, estas se sometieron a pruebas de germinación para evaluar su viabilidad después de los tratamientos (disminución de humedad al 10-12%, luego al 6% y finalmente conservación a -20°C durante 3 y 6 meses (Figura 13)).



**Figura 13.** Cuarto de almacenamiento largo plazo a 20°C bajo cero. Foto Paula Posada

**2.3.8. Ensayo 8: Determinación de la viabilidad de semillas almacenadas durante dos años a condiciones ambientales (23°C, 1100 m.s.n.m) y en refrigeración (4°C) y pruebas de vigor.**

Se realizaron dos tipos de almacenamiento durante dos años de 37 accesiones de maracuyá, 48 de granadilla y 28 de gulupa; el primer tipo de almacenamiento con el 50% de las semillas en condiciones ambientales (23°C – 1.100 m.s.n.m) con semillas tratadas con fungicida Vitavax® las cuales fueron sometidas a secado durante 8 días antes de almacenarlas, la humedad con la que se almacenaron fue de 19% para maracuyá, 24 para granadilla y 19% para gulupa, estas se depositaron en bolsas de papel que de forma inmediata fueron selladas en bolsas plásticas para evitar el exceso y pérdida de humedad durante su almacenamiento. El otro 50% de las semillas se almacenaron bajo condiciones de refrigeración, las cuales se secaron a un 10% de humedad,



posteriormente se empacaron al vacío en bolsas de aluminio para conservar a una temperatura de 4 - 6°C.

Estas se sometieron a pruebas de germinación al completarse los dos años de almacenamiento se realizó como para todas las pruebas de germinación conteo de las plántulas en emergencia y adicional al final el tiempo de evaluación se realizaron las pruebas de vigor.

El vigor sólo se determinó para el ensayo de conservación a dos años para determinar qué efecto tiene la conservación a largo plazo en estas especies, ya que las semillas frescas siempre generaban plántulas con buen vigor; para esto se utilizaron dos métodos: uno es el cálculo del índice de velocidad de germinación (Macguire, 1962) (Fórmula 2) y el otro es el ensayo de crecimiento y evaluación de las plántulas (Perry, 1981)., teniendo en cuenta que el porcentaje de germinación por sí solo no puede considerarse un adecuado índice de vigor (Delouche & Cadwell, 1960) además de que el vigor es el principal componente de la calidad de la semilla afectado por el proceso de deterioro (Delouche, 1976).

Delouche & Baskin (1973) mostraron que el deterioro afecta variables como la germinación, población inicial, altura de la planta, área foliar, acumulación de materia seca y productividad. Se espera que los métodos de las mediciones de vigor mediante el método de Perry serán de utilidad al conjugarlos con el índice de Macguire (1962). Para realizar este cálculo se tomó el dato total de plántulas germinadas de cada accesión a un tiempo de 20 días desde la siembra por observación de su comportamiento. Durante este tiempo las plántulas presentaban germinación casi en su totalidad, por lo que el dato calculado en esta etapa del ensayo es significativo

**Fórmula2.** Índice de velocidad de germinación (Macguire, 1962)

$$IVG = \frac{\text{número de semillas germinadas}}{\text{tiempo de germinación}}$$

Al calcular el índice de Macguire, el valor más alto debía ser de 2,5 (ocurrió cuando se presentó un 100% de germinación de plantas normales) indicando que las plántulas tuvieron un buen vigor; pero si por el contrario cuando hubo valores < 1,0 las plántulas presentaron muy poco vigor ya que tenían solo el 40% de germinación. Por último la medición de crecimiento se realizó al terminar con el ensayo ya que se midieron las longitudes y número de hojas de todas plántulas fuera del sustrato y se tomó un promedio para definir el dato final.

### **2.3.9. Análisis de datos:**

Para cada ensayo se realizó un análisis de datos por separado utilizando diferentes métodos, de acuerdo al tamaño y constitución de la muestra experimental con la ayuda de Excel (Microsoft 2010®) y con el paquete estadístico SAS 9.0 y STATISTICA V.8.

- 1. Ensayo 1:** Se realizaron tres repeticiones con 70 unidades experimentales (semillas) de las pruebas de germinación para cada especie en arena y papel en cámara húmeda, de las cuales se calculó el promedio por cada repetición.
- 2. Ensayo 2:** Se realizaron cuatro tratamientos con tres repeticiones con 70 unidades experimentales (semillas) de las pruebas de germinación para cada especie en arena de las cuales se calculó el promedio por cada repetición.
- 3. Ensayo 3, 4 y 5:** No se calcularon promedios ni se tuvieron repeticiones de los tratamientos, se presentaron los datos totales.
- 4. Ensayo 6:** Se realizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Se efectuó una transformación con Arcoseno para los datos. El análisis estadístico fue desarrollado con el software SAS realizando un análisis de varianza y una prueba de comparación promedios de Tukey para comparar las medias entre los tratamientos, además, corroborar si hay diferencias significativas entre estos.
- 5. Ensayo 7:** Se realizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos con tres repeticiones. Se realizó una transformación con Arcoseno para los datos. El análisis estadístico fue desarrollado con el software SAS realizando un análisis de varianza y una prueba de promedios de Tukey para comparar las medias entre los tratamientos, además, corroborar si hay diferencias significativas entre estos.
- 6. Ensayo 8:** Las accesiones provenientes de distintas zonas geográficas del país se tomaron como repeticiones de las semillas se calculó el promedio entre estas para sacar un dato general de las semillas conservadas a dos años.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Tamaño de la muestra

Se utilizó una muestra de 70 semillas para cada repetición en cada uno de los tratamientos.

#### 3.2. Ensayo No. 1. Prueba piloto de germinación

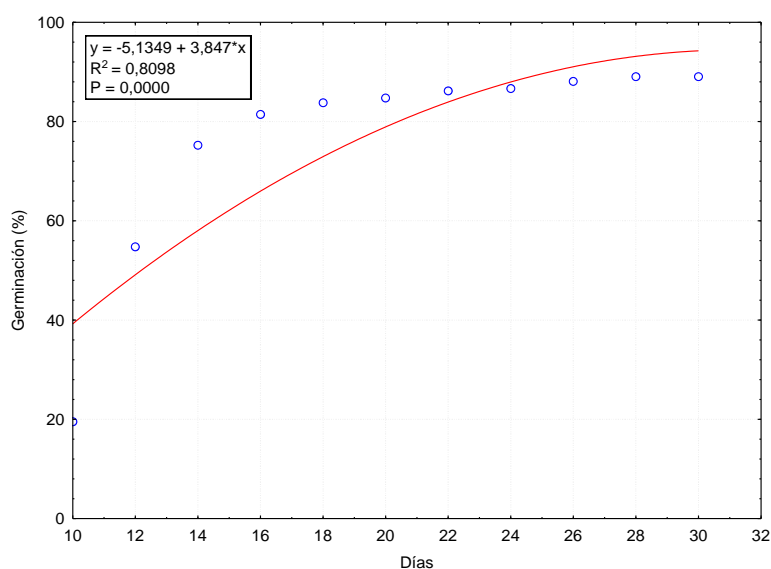
Como forma preliminar a la prueba piloto de germinación se determinó el porcentaje de humedad promedio de las especies evaluadas en fresco (recién extraídas del fruto); para maracuyá fue de 22,4%, granadilla 37,4% y gulupa 22,1%, además se realizó para otras especies para tener como futura referencia.

**Tabla 2.** Porcentaje de humedad de la semilla y ecofisiología de otra especies de pasifloras comerciales.

Especie	Nombre vulgar (N.V.)	Humedad %	Precipitación (mm)	Altitud (msnm)	Temperatura (°C)
<i>P. quadrangularis</i> L	Badea	38,12	1.800	0 - 1300	24 - 27
<i>P. alata</i> Curtis	Maracuyá dulce	27,91	800 - 1700	200 - 2500	23 - 27
<i>P. tarminiana</i> C & B	Curuba india	28,72	1000 - 1500	2000-2900	13 - 16
<i>P. maliformis</i> L.	Cholupa	38,58	800 - 1500	0 -1200	20 - 30

##### 3.2.1. Siembra de semillas en papel

La germinación promedio de la semilla de maracuyá en el sustrato de papel fue del 89%, indicando que es buen medio para su germinación. Después de los 20 días la germinación ya había alcanzado más del 80% tiempo en el cual se estabiliza la velocidad de germinación (Figura 14).



**Figura 14.** Germinación de semillas frescas de maracuyá en papel.



No obstante las semillas de gulupa y granadilla no germinaron en el papel, esto debido a que la cámara no es el medio adecuado para estas semillas por las condiciones de humedad, oxígeno y luz dentro de esta ya que el lote sembrado en papel fue el mismo que se sembró en el arena, las cuales si presentaron germinación, además según Lee & Heimsch, (1962) argumentan que las características ambientales inciden en la germinación de acuerdo a los requerimientos de las especies, sólo si estas son las apropiadas, las semillas podrán germinar, situación que se presentó en las cámaras para las semillas.

### 3.2.2. Siembra de semillas en arena

Las condiciones de siembra para la semilla de maracuyá en arena fueron de 23°C y humedad relativa de 73%, propias de la zona del ensayo. Por medio de la emergencia de las semillas se midió la germinación, que alcanzó con este sustrato un promedio de 87% (Figura 15), presentando un buen comportamiento en este medio; por lo tanto se escogió este sustrato para continuar con el resto de ensayos por ser una diferencia poco representativa entre sustratos evaluados, además más rápida, económica y porque todas las tres especies evaluadas germinaron en este sustrato.

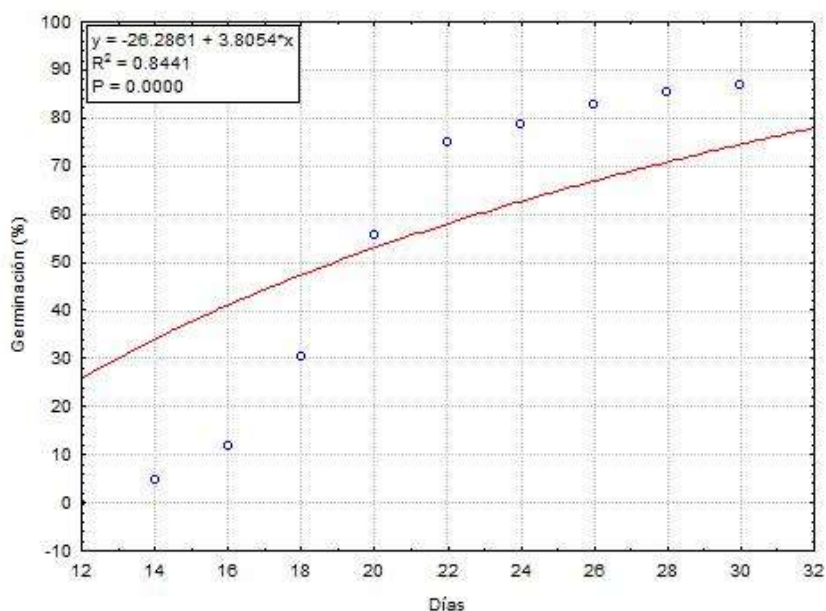
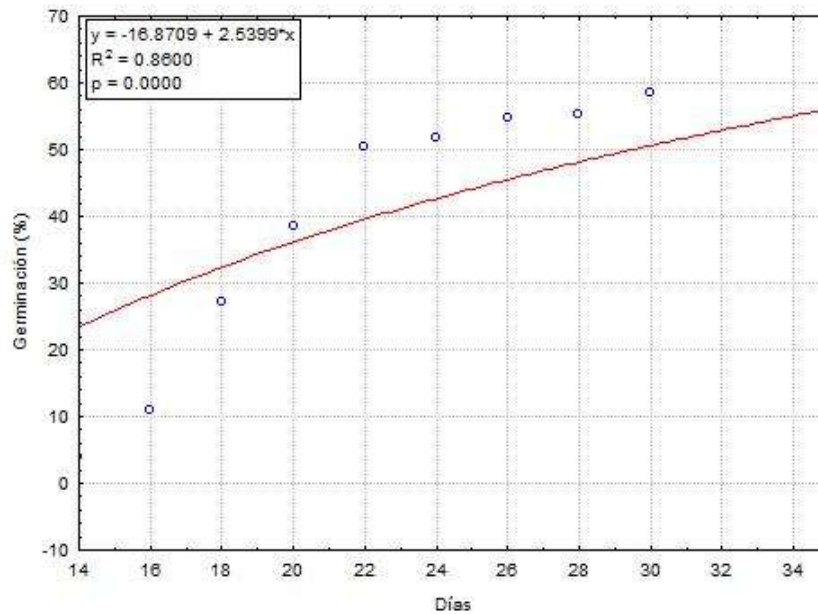


Figura 15. Porcentaje germinación de semillas de maracuyá en fresco en sustrato de arena.

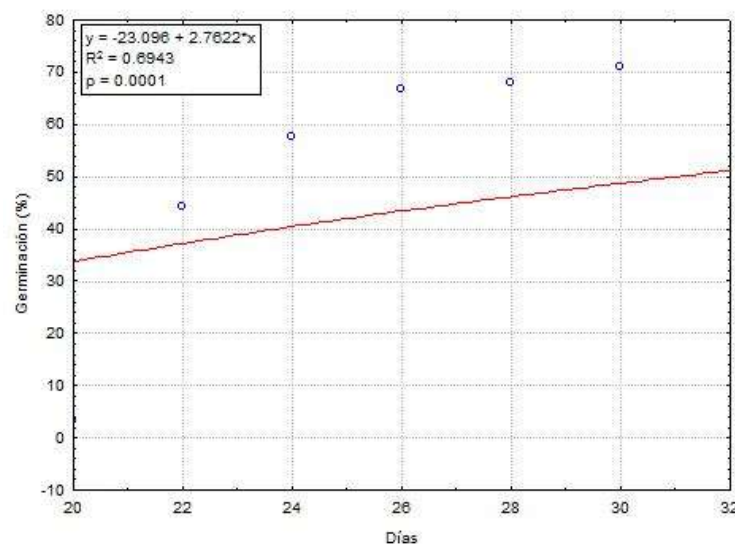
A pesar de que las semillas de granadilla tomaron más tiempo en germinar y no tuvieron los mejores promedios de germinación 59% (Figura 16) en el ensayo se observó que para esta

especie el comportamiento de ese sustrato fue el mejor ya que en papel no presentó germinación.



**Figura 16.** Porcentaje germinación de semillas de granadilla en fresco en sustrato de arena.

La germinación promedio para gulupa fue de 71%, .Es de anotar que este método presentó mejores resultados que en papel; a pesar que se requiere mayor número de días para alcanzar una óptima germinación tal vez porque la emergencia en la arena es más difícil para las semillas, para las semillas no germinadas no se realizó la prueba de tetrazolio ya que muchas se deterioraban por estar en este sustrato (Figura 17).

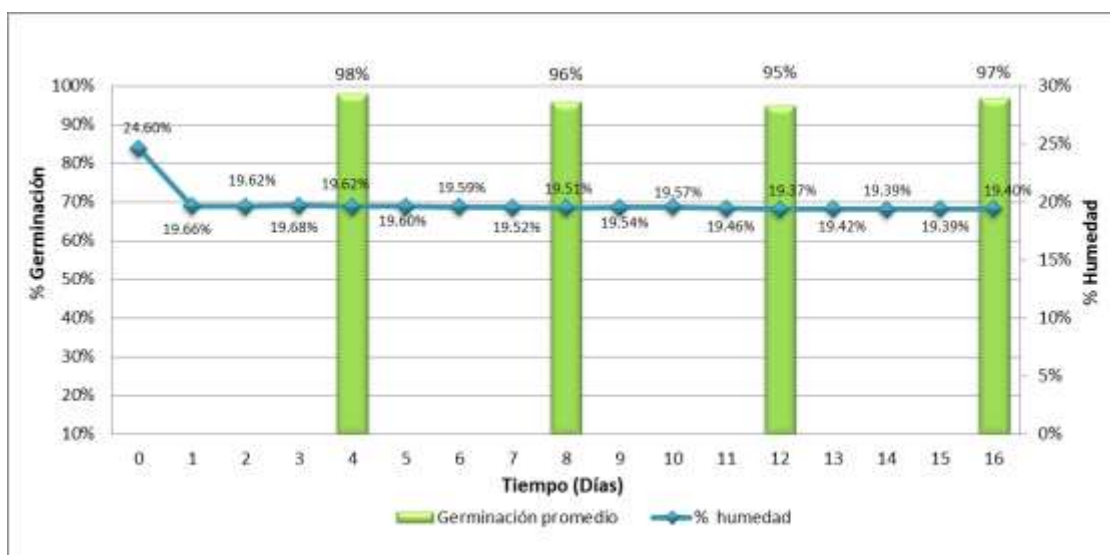


**Figura 17.** Porcentaje germinación de semillas de gulupa en fresco en sustrato de arena.

De acuerdo a los resultados obtenidos el mejor método para la siembra de los ensayos es el sustrato de arena. Además, este método es viable y práctico para los agricultores, para que estos puedan realizar sus pruebas en campo.

### 3.3. Ensayo No. 2. Prueba de germinación con 4, 8, 12 y 16 días de almacenamiento al ambiente

En la prueba con semillas de maracuyá se observó que la germinación y la humedad no disminuyeron lo esperado (10-12%). La humedad inicial de las semillas fue de 24,6% logrando disminuir el contenido de agua un 5,20% a los 16 días de ensayo (19,40% humedad final). El porcentaje de germinación de las semillas en arena mantuvo un promedio del 97% (Figura 18), el cual permaneció constante durante la prueba, hecho que denota que en este tiempo de secado no se afectó esta variable, además por la capacidad higroscópica de las semillas estas alcanzaron un contenido de humedad de equilibrio con el ambiente.



**Figura 18.** Porcentajes de germinación de las semillas de maracuyá en intervalos de cada cuatro días de secado al ambiente.

Para las semillas de granadilla la humedad inicial fue del 35,79% disminuyendo durante los 16 días del ensayo un 11,70% (24,09% humedad final), la germinación presentó un promedio del 94% (Figura 19) indicando que no se vio afectada por el almacenamiento durante este periodo de tiempo y nuevamente las semillas por su capacidad higroscópica alcanzaron el contenido de humedad en equilibrio con el ambiente.

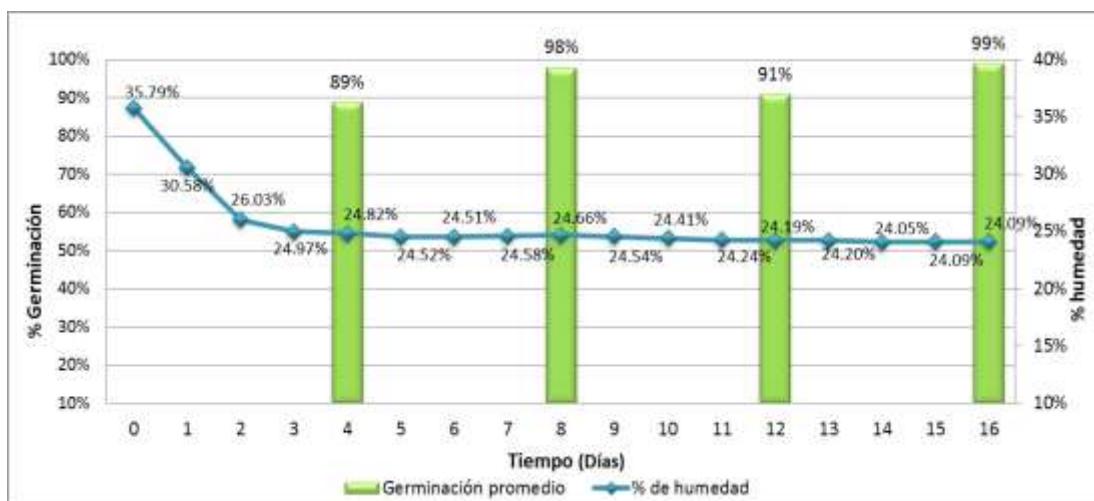


Figura 19. Germinación de granadilla con secado cada cuatro días.

La prueba con semillas de gulupa presentó una humedad inicial del 22,86%, disminuyendo durante los 16 días del ensayo un 3,72% (19,14% humedad final). La germinación presentó un promedio del 69%, este valor se ve afectado en el día 8 debido a que en las pruebas de germinación solo se alcanzó el 42%, sin observar variaciones en el contenido de humedad de la semilla. Es de anotar que el mejor porcentaje de germinación se alcanzó a los 4 días (89%), además el contenido de humedad entre el día 4 y 16 no presentó gran diferencia por lo que el comportamiento de germinación no se debe a este factor, tal vez el suministro hídrico no fue el suficiente o la temperatura ambiental tuvo muchas variaciones que afectaron la germinación o esas semillas presentan algo de latencia que se activó con el almacenamiento al ambiente (Figura 20).

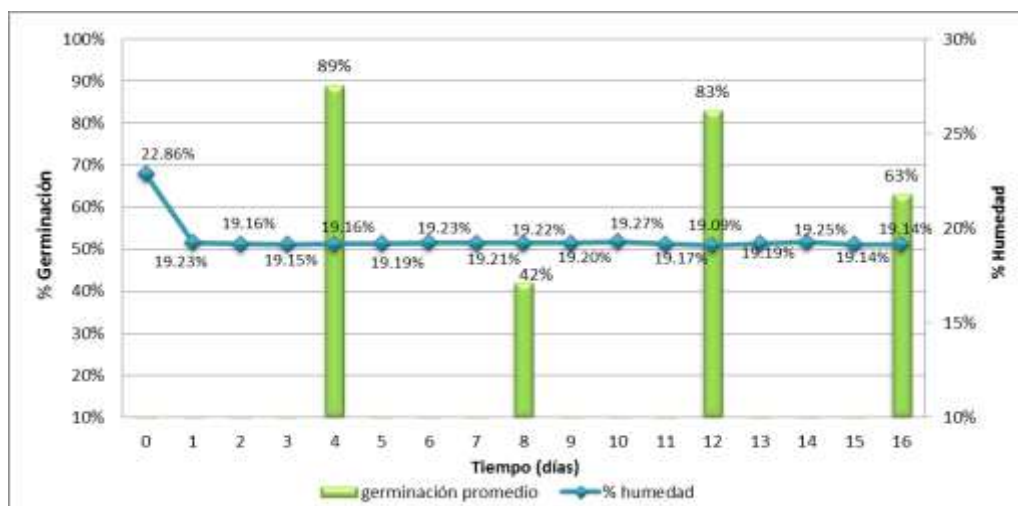


Figura 20. Germinación de gulupa con secado cada cuatro días.

En general para esta prueba se observó que las semillas de maracuyá y granadilla tuvieron el mejor comportamiento de germinación durante el ensayo ya que sus porcentajes fueron superiores al 90%. Mediante la evaluación de humedad se observó que las semillas de granadilla perdieron el mayor porcentaje de humedad (11,70%). Para el caso de las semillas de gulupa se observó que son las más susceptibles a las fluctuaciones de temperatura y humedad relativa del ambiente afectando significativamente su germinación, tal vez porque puedan presentar latencia que se activa con el almacenamiento. La humedad para las tres especies no disminuyó lo esperado (10 a 12%), por lo tanto se puede afirmar que las semillas tienen tendencia a equilibrar su humedad interior con el ambiente hasta cierto punto, hecho que denota la necesidad de realizar pruebas con periodos de tiempo más prolongados para definir este límite.

### 3.4. Ensayo No. 3. Secado de las semillas con sal

Se observó que la humedad de la semilla de maracuyá se estabilizó a partir del tercer día (promedio 21%) y no tuvo más variación durante la prueba. Las diferentes concentraciones de sal de acuerdo con el peso de la semilla no presentaron el efecto esperado, puesto que la mayor concentración no implicó que redujera en mayor proporción la humedad de las semillas. De acuerdo a la prueba solo se pudo reducir un promedio de 3,3% (Figura 21).

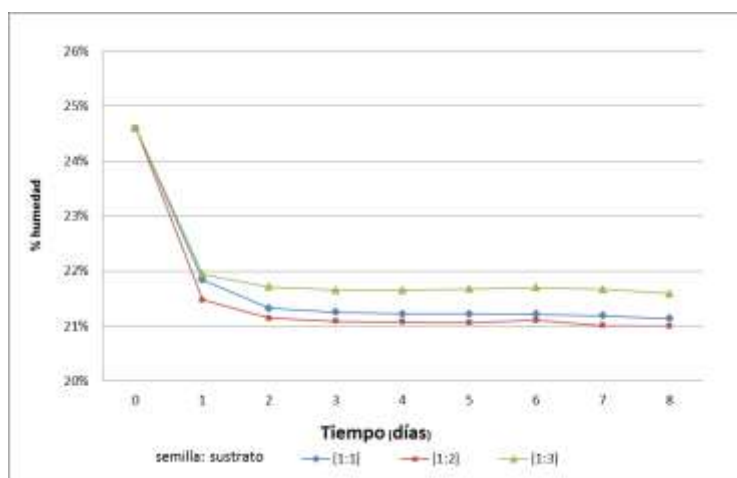
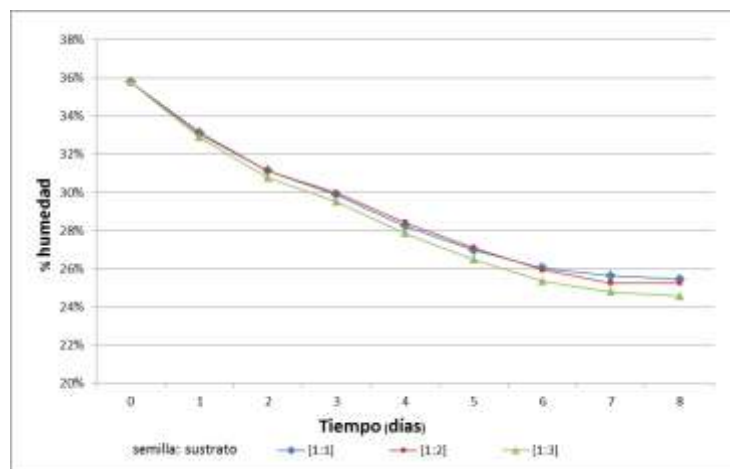


Figura 21. Comportamiento del secado de las semillas de maracuyá en un sustrato de sal.

En el caso de las semillas de granadilla la humedad se estabilizó entre los días 7 y 8, se observó que la disminución fue más significativa (10,35%) con respecto a la humedad inicial que fue de 35,8%. Sin embargo el efecto de las diferentes concentraciones no fue significativo ya que la humedad en las semillas presentó igual comportamiento (Figura 22).

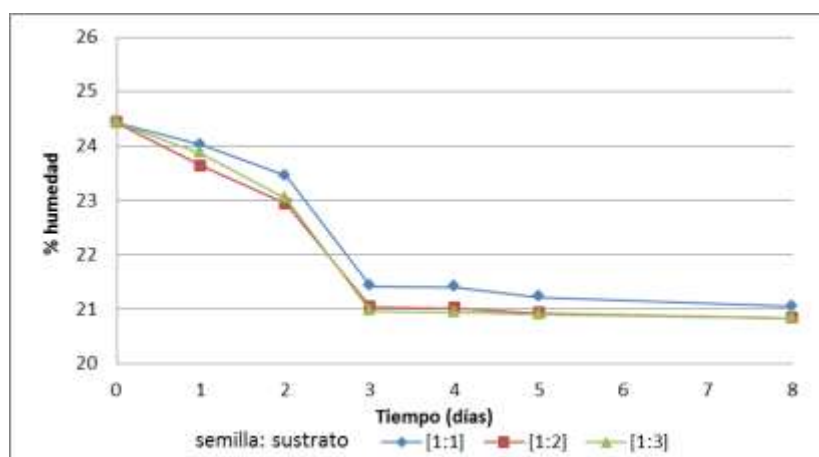


**Figura 22.** Comportamiento del secado de las semillas de granadilla en un sustrato de sal.

De acuerdo con los resultados se observó que el método no es efectivo para reducir la humedad de las semillas hasta el punto esperado (12 a 10%) ya que sólo se logró reducir hasta un mínimo de 25 a 20% efecto producido cuando las semillas alcanzaron su humedad de equilibrio con el ambiente.

### 3.5. Ensayo No. 4. Secado de las semillas con arroz caliente (*Oryza sativa*)

En el caso del secado con arroz caliente las semillas de maracuyá no presentaron la reducción esperada del 10 al 12% de la humedad (inicial 24,4%, final 20,8%) solo disminuyó un 3,5%; las concentraciones no tuvieron efecto en la evaluación de la variable (Figura 23).



**Figura 23.** Secado de semillas de maracuyá con arroz.

El secado con arroz para las semillas de granadilla tuvo una reducción esperada; la humedad inicial fue de 35,2% y se redujo un 9% alcanzando una humedad final del 26%. Se observó que

la humedad de las semillas presentó variación de acuerdo a las concentraciones, ya que a mayor concentración de arroz caliente se redujo más la humedad (Figura 24).

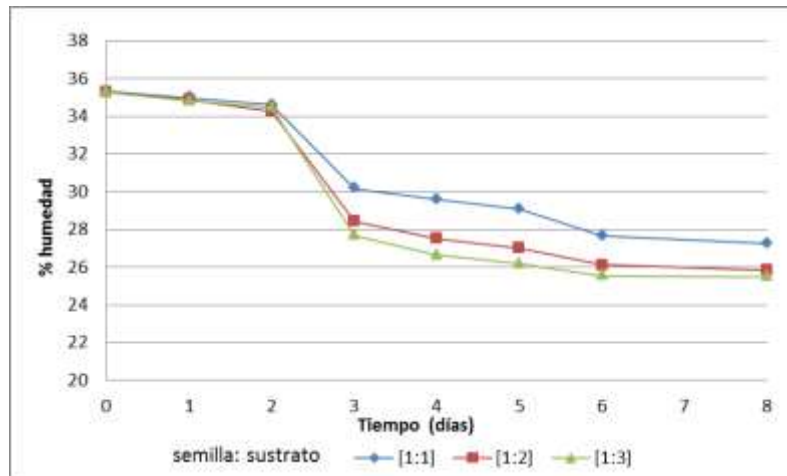


Figura 24. Secado de semillas de granadilla con arroz.

### 3.6. Ensayo No.5 secado de semillas con silica gel

Se observó que la humedad de la semilla de maracuyá se estabilizó a partir del quinto día (promedio 19,7%). Las diferentes concentraciones de sílica de acuerdo con el peso de la semilla no presentaron el efecto esperado, puesto que la mayor concentración no implicó que redujera en mayor proporción la humedad de las semillas. De acuerdo a la prueba solo se pudo reducir un promedio de 4,7% la humedad (Figura 25).

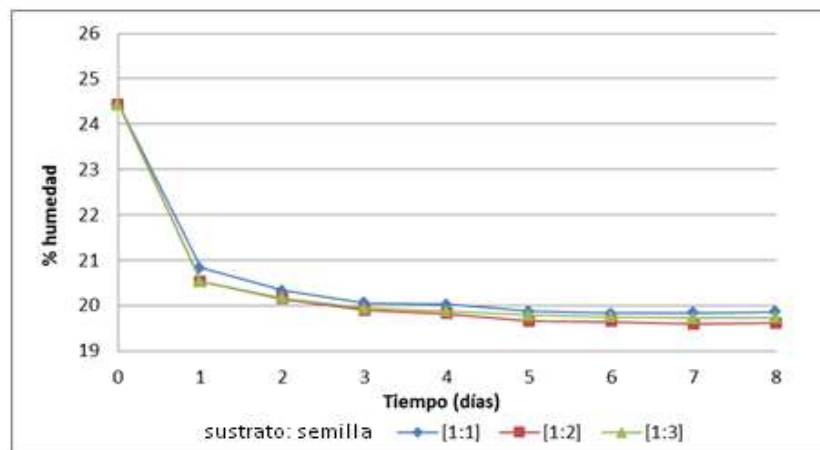
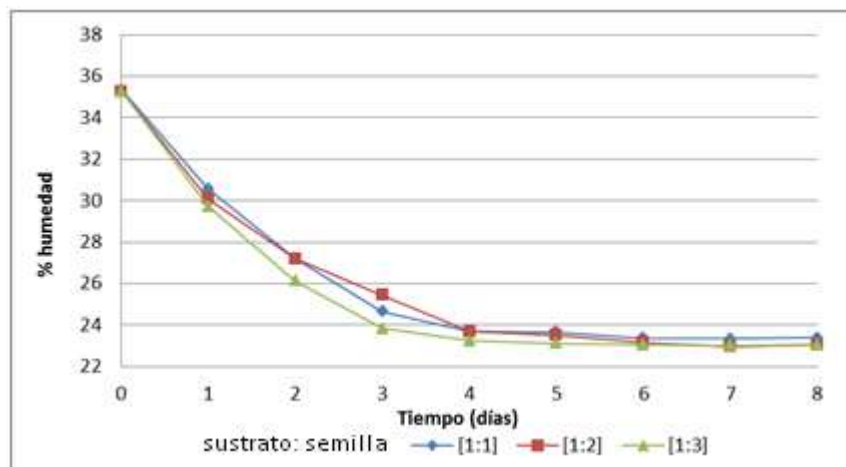


Figura 25. Secado de semillas de maracuyá con silica gel.

En el caso de las semillas de granadilla la humedad se estabilizó a partir el quinto día, se observó que la disminución fue la esperada (12%) con respecto a la humedad inicial que fue de 35,28%. Sin embargo el efecto de las diferentes concentraciones no fue significativo ya que la humedad en las semillas presentó igual comportamiento (Figura 26).



**Figura 26.** Secado de semillas de granadilla con sílica gel.

Este ensayo no fue efectivo para la extracción de humedad de las semillas, sin embargo, este método puede ser usado para evitar que las semillas absorban humedad durante su movilidad, pero no como tratamiento previo a la conservación. Es de anotar que se deben usar mayores proporciones (10 o más veces el peso de la semilla) de sílica gel para que pueda absorber cierta proporción de humedad tal como lo expresan Bonilla *et al.* (2007) en el secado de semillas de Chambimbe (*Sapindus saponariaque*), que utilizaron seis, nueve hasta 12 veces la relación de sílica por semillas para obtener una reducción de la humedad hasta el 12%; siendo este método muy costoso para pensar en implementarlo para agricultores y laboratorios.

### 3.7. Ensayo No. 6. Almacenamiento de las semillas al ambiente durante 6 meses

Las semillas de maracuyá, granadilla y gulupa alcanzaron al cabo de un mes los niveles de humedad esperados 10,93%, 11,37% y 11,61% respectivamente (Tabla 3), la temperatura promedio en el tiempo de almacenamiento fue de 22,6°C y la humedad relativa de 78% en el periodo de Octubre de 2010 a abril de 2011 (Cenicaña datos de la estación la Rita Palmira), con el paso del tiempo se observó que la humedad de las semillas disminuyó de forma gradual. Es de anotar que se debe tener precaución en su manejo ya que las semillas que van a ser destinadas para conservación no pueden recibir sol directo ni calor intenso. Hecho que puede afectar la viabilidad debido a condiciones de estrés que sufren las semillas al ser expuestas al calor provocando daño fisiológico (Aguirre & Peske, 1992).



**Tabla 3.** Porcentaje de humedad de las semillas de maracuyá, granadilla y gulupa durante seis meses con el secado al ambiente y promedios de germinación.

Especie	Tiempo (meses)	% Humedad	% Germinación
Maracuyá	0	24,6	86,66
	1	10,9	100,00
	3	10,5	84,23
	6	9,90	97,67
Granadilla	0	35,7	58,67
	1	11,3	84,70
	3	11,2	84,73
	6	9,00	96,17
Gulupa	0	22,8	71,00
	1	11,6	85,00
	3	11,4	75,20
	6	10,1	44,23

Posteriormente para los resultados obtenidos en las pruebas de germinación se realizaron análisis de varianzas (ANOVA) para cada tiempo de secado en las tres especies con los datos transformados (función *Arcoseno*) con el objetivo de determinar si hubo diferencias significativas entre los promedios de cada prueba (Tabla 3).

Para maracuyá no hubo diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los diferentes tiempos de almacenamiento al ambiente (Figura 26). Se observó en las cuatro pruebas un buen comportamiento en la germinación de las semillas, aunque el maracuyá obtuvo para estas pruebas el mejor comportamiento al primer y sexto mes de almacenamiento al ambiente.

Para granadilla hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los diferentes tiempos de almacenamiento al ambiente (Figura 26), se observó que el mejor comportamiento de germinación en las pruebas se presentó al sexto mes de conservación. Es de anotar que para esta especie no es recomendable la siembra de las semillas en fresco debido a la alta humedad, además, su germinación se afecta.

Las pruebas de germinación en gulupa presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tiempos de almacenamiento al ambiente (Figura 27). Sin embargo, en el primer mes de secado se presentó el mejor promedio de germinación y en el sexto mes fue el que menos germinación presentó, es de anotar que el mayor tiempo de conservación afecta la viabilidad de la semilla.

En términos generales se observó de acuerdo a los resultados obtenidos que el tiempo de almacenamiento en el que se logró la mejor germinación para maracuyá y gulupa fue de un mes de almacenamiento, no obstante, para granadilla la mejor germinación fue a los seis meses de almacenamiento.

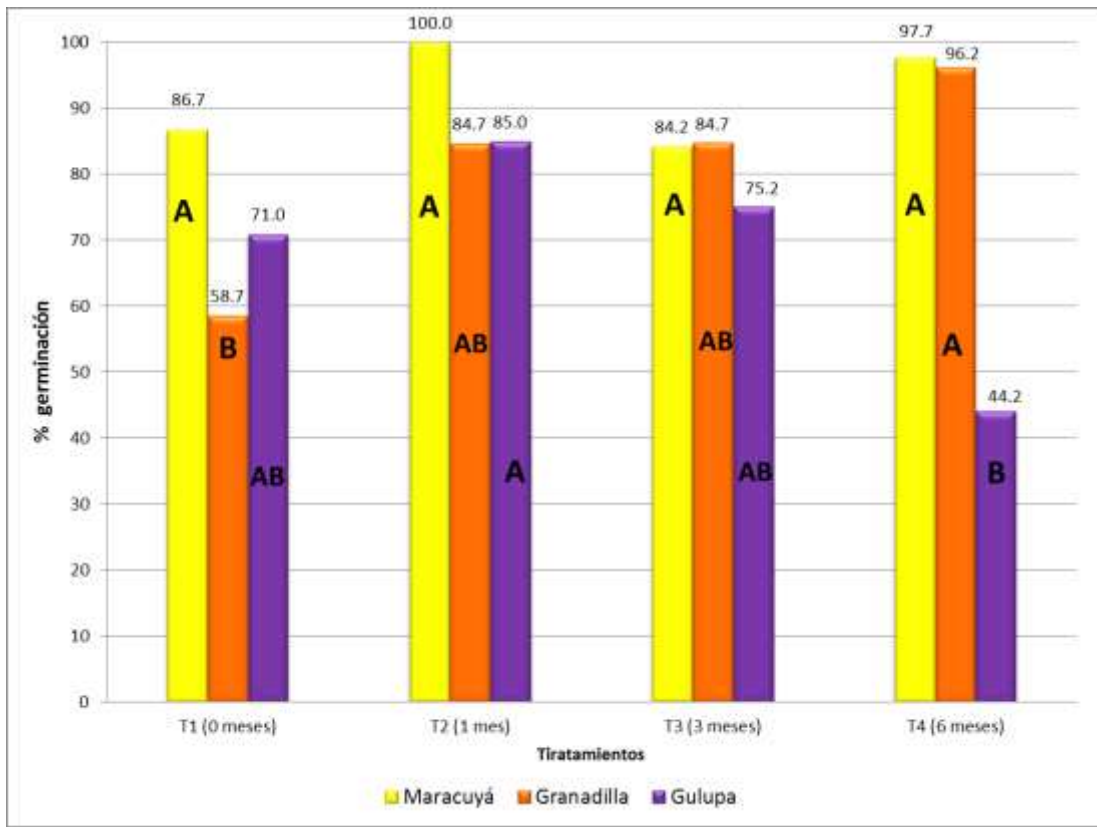


Figura 27. Geminación promedio de las semillas durante los seis meses de conservación al ambiente.

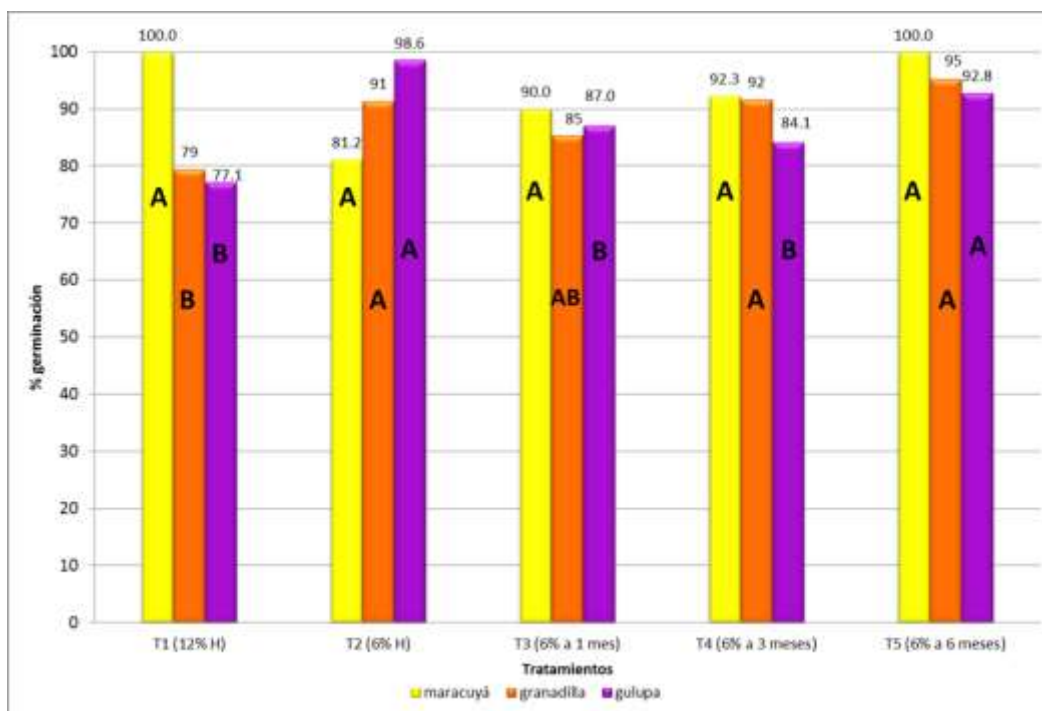
### 3.8. Ensayo No. 7. Desarrollo del protocolo de Hong y Ellis para determinar el comportamiento de las semillas

De acuerdo con el estudio de Aguirre & Peske (1992) se recomienda no someter las semillas en general a secado en temperaturas superiores a los 35°C, si el contenido de humedad interna es mayor al 18%, ya que pueden perder su viabilidad, parámetros que se pueden tener en cuenta para las semillas que se van a destinar a conservación. En contraste, Carlesso *et al.* (2005) para secado de semillas de maracuyá empleó un ventilador con tres niveles de temperatura (30, 37, y 40°C) para disminuir la humedad hasta el 10% pero no realizó pruebas de germinación para comprobar si se perdía viabilidad. Debido a esto, no se realizó el secado de las semillas con altas temperaturas. De acuerdo a los resultados obtenidos en el desarrollo del protocolo las semillas de estas tres especies lograron buenos resultados en las germinaciones como se detalla a continuación.

Para que las semillas de maracuyá y gulupa (promedio 24,3% de humedad) alcanzaran un 12% de humedad fue necesario 5 horas de secado a 21°C y 35% HR. No obstante, la granadilla (34,78% humedad en fresco) necesitó 20 horas de secado; inicialmente en el cuarto de 21°C y 35% HR por 7 horas, luego al secador de 22°C y 7% HR donde permanecieron por 13 horas hasta alcanzar la humedad final 12,44%. Los resultados obtenidos de las pruebas de germinación luego de someter las semillas al secado hasta el 12% indicaron que la semilla de maracuyá presentó el mejor comportamiento, tuvo un promedio de germinación del 100%, seguido de la granadilla con 79,4% y la gulupa con 77,1% (Figura 27).

La segunda etapa del proceso basado en el protocolo de Hong & Ellis (1996) para el secado hasta el 6% de humedad, usó las semillas que inicialmente se llevaron al 12% de humedad. En el caso de maracuyá y gulupa se alcanzó una humedad final de 6,02% y 5,82% respectivamente durante un periodo de 60 horas en el cuarto de 21°C y 35% HR. Se observó nuevamente que las semillas de ambas especies presentaron el mismo comportamiento de reducción de su humedad. Por otro lado las semillas de granadilla se sometieron al secado en un cuarto con menos humedad y temperatura para acelerar el proceso (secado a 20°C y 10%HR), este tomó 105 horas y las semillas finalmente alcanzaron una humedad de 5,89%. Los resultados obtenidos de las pruebas de germinación indican que las tres especies presentaron un buen comportamiento al ser sembradas con 6% de humedad; el promedio de germinación para la semilla de maracuyá fue de 81,2% para granadilla 91,4% y para gulupa 98,67% (Figura 27).

Luego una parte de las semillas que anteriormente se les disminuyó la humedad al 6% fueron almacenadas a 20°C bajo cero durante 6 meses. Se realizaron pruebas de germinación al 1er, 3er y 6to mes de conservación (Figura 28); se observó que las semillas de las tres especies presentaron buen comportamiento en la germinación frente a los periodos de conservación. La semilla de maracuyá es la más resistente a la conservación y de acuerdo con los resultados el almacenamiento en frío fue beneficioso porque los porcentajes de germinación aumentaban con el tiempo (1 mes: 90%, 3 meses: 92,3%, 6 meses: 100%). La semilla de granadilla de igual forma pero con menor proporción presentó una buena respuesta a la conservación (1mes: 85,3 %, 3 meses: 91,7%, 6 meses: 95,2%). Por el contrario gulupa presentó un comportamiento irregular aunque tuvo buenos porcentajes de germinación superiores al 80% (1 mes: 87%, 3 meses: 84,1%, 6 meses: 92,8%).



**Figura 28.** Promedios de la pruebas de germinación siguiendo el protocolo de Hong y Ellis.

Una vez obtenidos los resultados de germinación para las tres especies, se realizó el análisis estadístico (Tabla 4) con los datos transformados (función *Arcoseno*), obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4.** Promedios entre prueba del Protocolo de Hong & Ellis.

Tratamiento	Maracuyá	Granadilla	Gulupa
12%H, sin refrigeración	100,00	79,46	77,14
6%H, sin refrigeración	78,03	91,36	98,57
6%H, 1mes -20°C	90,00	85,33	87,00
6%H, 3meses -20°C	92,33	91,67	84,06
6%H, 6meses -20°C	100,00	95,20	92,80

Para maracuyá no hubo diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los diferentes tiempos de secado y almacenamiento, es de anotar que el mejor comportamiento para la germinación de las semillas se presentó con 12% de humedad sin refrigeración y 6% de humedad conservándola durante 6 meses a  $-20^{\circ}\text{C}$ , pruebas que alcanzaron el 100% de germinación (Figura 28 y 29). Mediante estos resultados se observó que esta especie al tener un contenido de humedad adecuado (10 al 12%), logra buena germinación siendo sembrada de forma inmediata; al disminuir la humedad (6%) lo ideal es someter la semilla al almacenamiento a

-20°C de (1 a 6 meses). Es de anotar que al disminuir la humedad al 6% y no realizar refrigeración la germinación solo fue de 78% indicando la posibilidad de latencia también en maracuyá que se elimina al someterla a refrigeración.

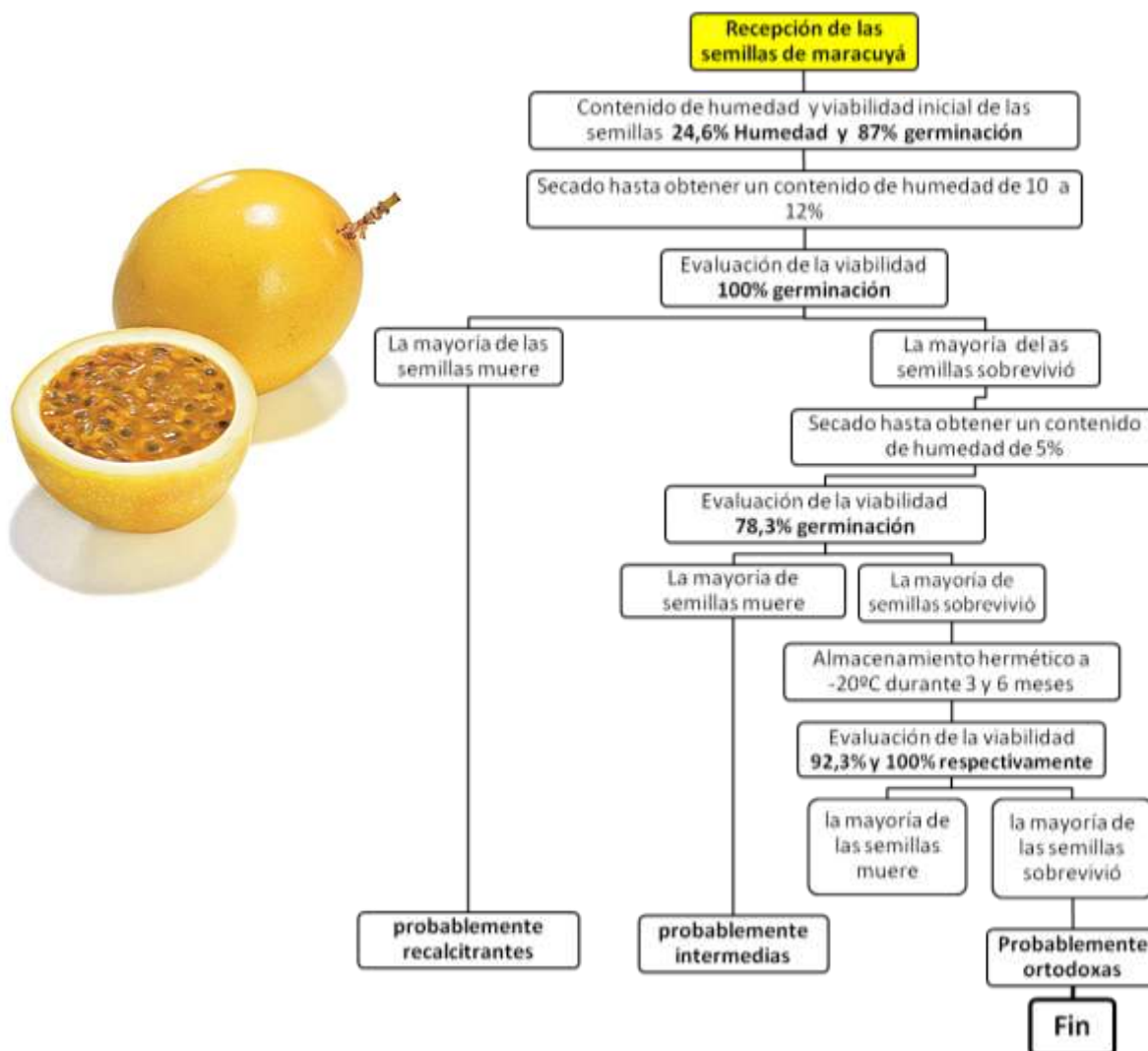
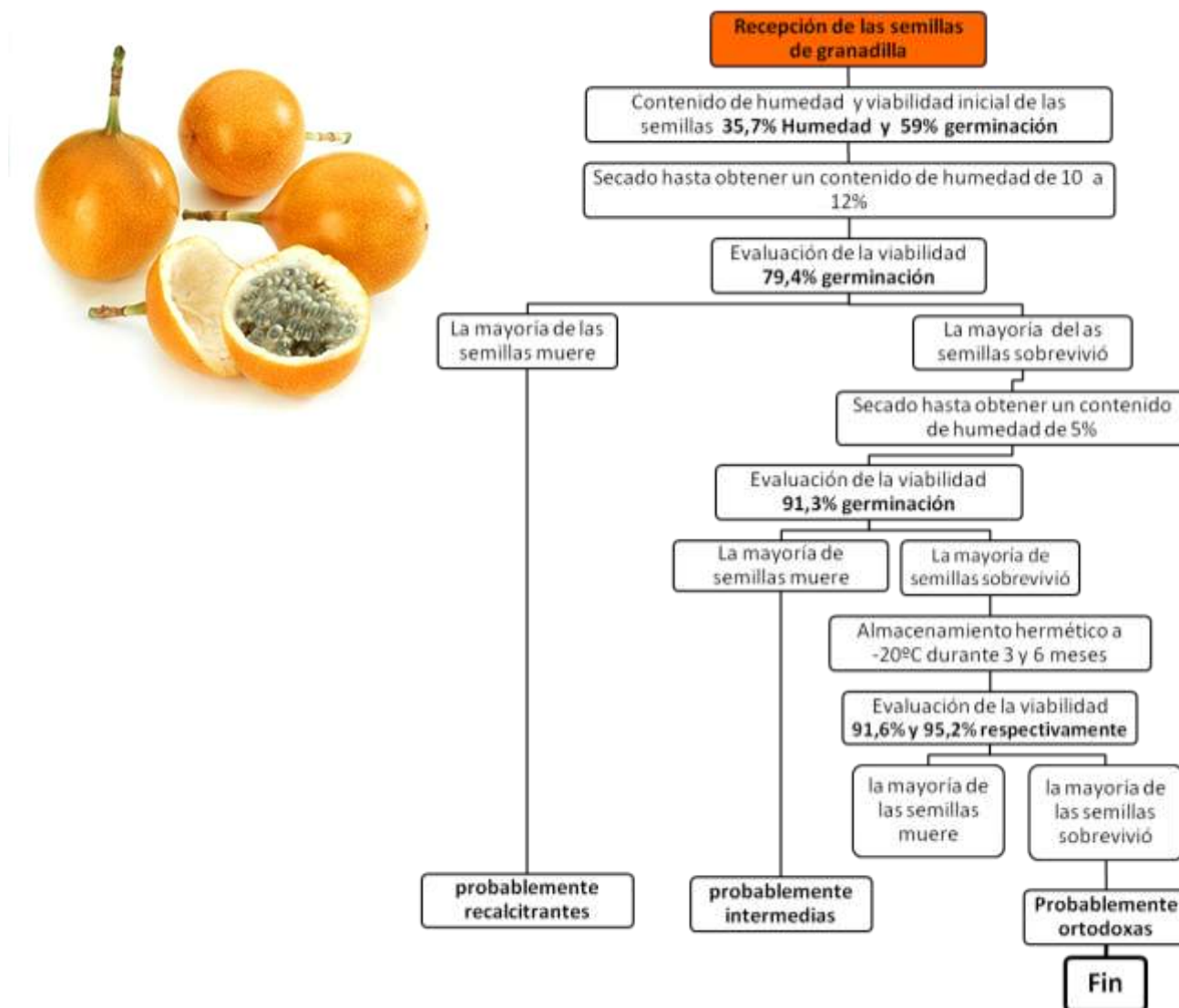


Figura 29. Resultados al aplicar el protocolo de Hong & Ellis (1996) para la semilla de maracuyá.

Para granadilla hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los diferentes tratamientos de secado y almacenamiento; las pruebas en las que se obtuvo mejores porcentajes de germinación fueron a los 6 meses de conservación al 6% de humedad (95,20% germinación promedio) y al 6% de humedad sembrando de forma inmediata (91,36%), es de anotar, que la germinación de la prueba del 12% de humedad sin refrigeración obtuvo (79,46% de germinación) siendo la más baja (Figura 28 y 30). Para gulupa (Figura 28 y 31) hubo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los diferentes tiempos de secado y almacenamiento; el secado hasta el 12% con siembra inmediata fue el que obtuvo la germinación más baja (77,14%), el

secado hasta el 6% de humedad con siembra inmediata sin refrigeración presentó la mejor germinación (98,57%).



**Figura 30.** Resultados al aplicar el protocolo de Hong & Ellis (1996) para la semilla de granadilla.

En contraste a los resultados obtenidos por Ospina *et al.* (2000) en esta investigación la semilla de maracuyá presentó comportamiento ortodoxo por su adecuada germinación (> 80%) frente a los tratamientos de secado y conservación, de igual forma las semillas de granadilla y gulupa presentaron comportamiento de tipo ortodoxo. Es de anotar que las semillas evaluadas nunca presentaron comportamiento recalcitrante debido a que siempre la mayoría presentó viabilidad durante la conservación a seis meses, tal como lo establece el protocolo de Hong & Ellis (1996).

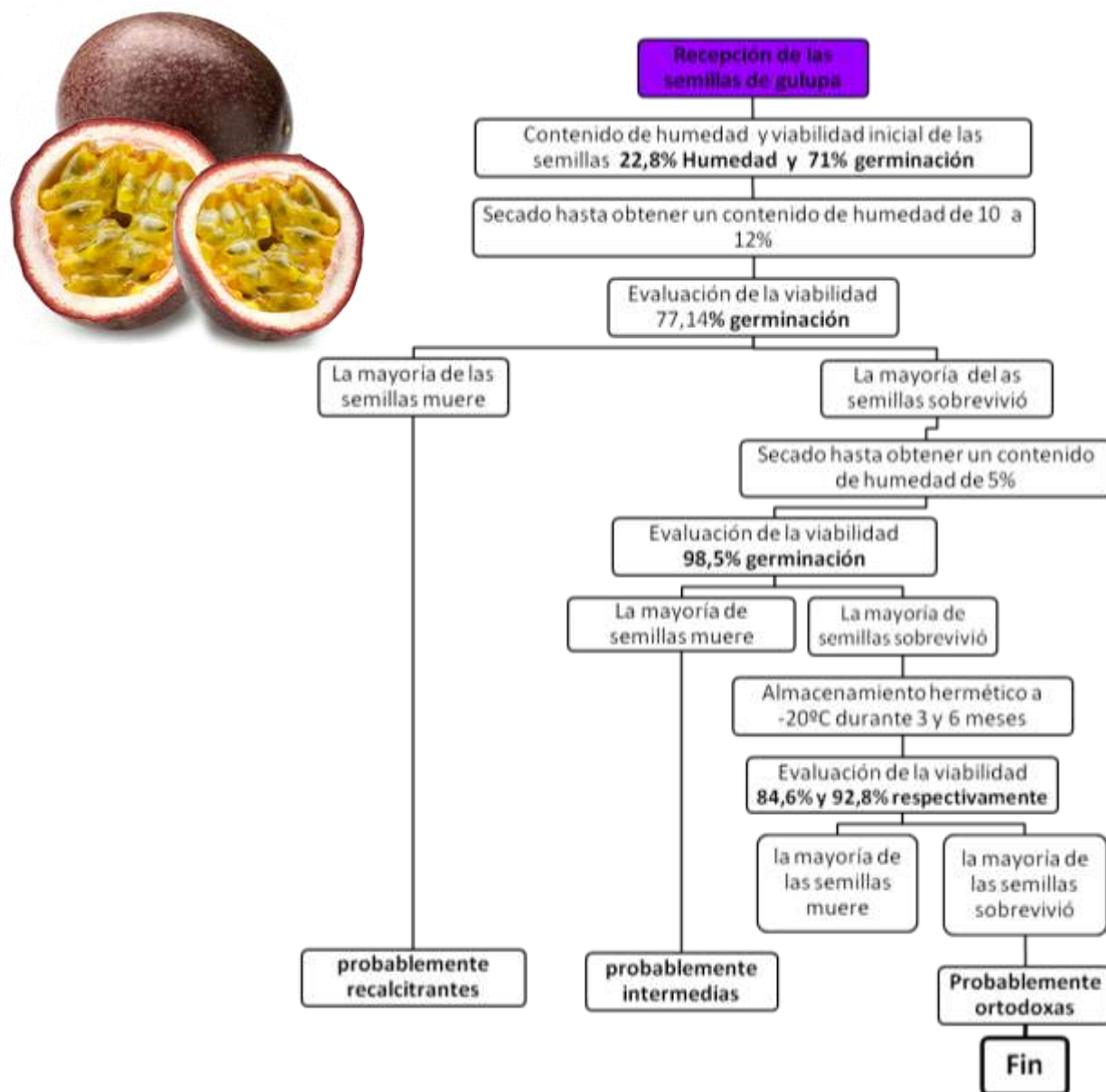


Figura 31. Resultados al aplicar el protocolo de Hong & Ellis (1996) para la semilla de gulupa.

### 3.9. Ensayo No. 8. Determinación de la viabilidad y prueba de vigor

#### 3.9.1. Semillas almacenadas dos años al ambiente

Para la prueba se utilizaron 42 accesiones de maracuyá, 43 de granadilla y 21 de gulupa (Tabla 5), de las cuales germinó el 85% en el caso de maracuyá, 0% para granadilla y 19% para gulupa. Es de anotar que el maracuyá presentó el mejor comportamiento en la germinación de sus accesiones Valle y Tolima con 100% de germinación y Antioquia, Cauca y Huila presentaron el

82% de germinación, sin embargo la velocidad de germinación fue lenta ya que el reporte de las primeras plántulas germinadas fue a partir de los 20 días. Cabe resaltar que la relación entre la germinación y las fluctuaciones ambientales (temperatura y humedad relativa) a las que estuvieron expuestas las semillas durante su almacenamiento, la cual afectó la fisiología de las semillas no germinadas ocasionando la pérdida de viabilidad debido al daño en sus tejidos.

En términos generales las accesiones de maracuyá soportaron el almacenamiento al ambiente, se observó que las semillas que provienen de condiciones con limitaciones en suministro de agua soportan mejor la disminución de humedad y el almacenamiento. Es de anotar que este comportamiento se debe a la evolución genética de la especie por la interacción del genotipo por ambiente (Hong & Ellis, 1996).

**Tabla 5.** Accesiones almacenadas durante dos años al ambiente de maracuyá y granadilla.

Especie	Departamento	Codigo	No. Acc. evaluadas	No. Acc. germinadas	% promedio de germinación
<i>P. edulis f. flavicarpa</i>	Antioquia	AntFla	6	5	16
	Caldas	CalFla	4	2	10
	Cauca	CauFla	5	4	22
	Cundinamarca	CunFla	2	1	44
	Huila	HuiFla	7	6	21
	Tolima	TolFla	7	7	20
	Valle	ValFla	11	11	40
<b>Total</b>			<b>42</b>	<b>36</b>	<b>24,7</b>
<i>P. edulis f. edulis</i>	Antioquia	AntEdu	4	0	0
	Boyacá	BoyEdu	2	0	0
	Cundinamarca	CunEdu	4	2	22
	Huila	HuiEdu	5	2	22
	Tolima	TolEdu	3	0	0
	Quindío	QuiEdu	2	0	0
	Putumayo	PutEdu	1	0	0
<b>Total</b>			<b>9</b>	<b>4</b>	<b>22</b>

El hecho de que las semillas de granadilla y gulupa presentaron porcentajes de germinación bajos indica que estas sufrieron por completo daño fisiológico debido a la exposición al ambiente, no es conveniente conservar las semillas por largos periodo de tiempo en condiciones ambientales, la conservación a bajas temperaturas tal como se apreció en el protocolo de Hong & Ellis permite su almacenamiento evitando el daño fisiológico.

### 3.9.2. Semillas almacenadas dos años en refrigeración (4 – 6 °C)

Para la prueba se utilizó 39 accesiones de maracuyá, 45 de granadilla y 22 de gulupa, con un 10% de humedad interna, de las cuales germinó el 100% en el caso de maracuyá, 62% para



granadilla y 86% para gulupa (Tabla 6). Es de anotar que las tres especies presentaron mejor comportamiento frente a la prueba de almacenamiento al ambiente ya que la conservación bajo condiciones de refrigeración elimina las fluctuaciones ambientales y permite conservar los tejidos de las semillas. Se evidenció que la velocidad de germinación para maracuyá aumentó en comparación con el almacenamiento al ambiente. Normalmente las semillas germinan de 14 a 16 días, en esta prueba la germinación se presentó a partir de los 8 días. Por otro lado para granadilla y gulupa no hubo aumento en la velocidad, aunque presentaron mejor comportamiento en la germinación frente al almacenamiento ya al ambiente no hubo germinación de accesiones para granadilla y solo 4 accesiones en gulupa.

**Tabla 6.** Accesiones almacenadas durante dos años en refrigeración (4-6 °C) con 12% de humedad.

Especie	Departamento	Código	No. Accesiones evaluadas	No. Accesiones germinadas	% promedio germinación
<i>P. edulis f. flavicarpa</i>	Antioquia	AntFla	6	6	96,3
	Caldas	CalFla	3	3	80,0
	Cauca	CauFla	4	4	99,5
	Cundinamarca	CunFla	1	1	92,0
	Huila	HuiFla	7	7	88,6
	Tolima	TolFla	7	7	88,6
	Valle	ValFla	11	11	95,0
<b>Total</b>			<b>39</b>	<b>39</b>	<b>89,0</b>
<i>P. liguralis</i>	Antioquia	AntLig	3	3	50,7
	Boyacá	BoyLig	5	5	69,2
	Caldas	CalLig	6	6	77,0
	Cundinamarca	CunLig	5	3	45,3
	Huila	HuiLig	7	0	0,0
	Putumayo	PutLig	1	1	70,0
	Quindío	QuiLig	5	1	24,0
	Tolima	TolLig	3	3	53,3
	Valle	ValLig	6	6	80,7
	Risaralda	RisLig	4	0	0,0
<b>Total</b>			<b>45</b>	<b>29</b>	<b>57</b>
<i>P. edulis f. edulis</i>	Antioquia	AntEdu	4	3	72,7
	Boyacá	BoyEdu	5	5	81,6
	Cundinamarca	CunEdu	3	2	52,0
	Huila	HuiEdu	4	3	93,3
	Putumayo	PutEdu	1	1	94,0
	Risaralda	RisEdu	1	1	24,0
	Tolima	TolEdu	4	4	94,5
<b>Total</b>			<b>22</b>	<b>19</b>	<b>56,6</b>

Aunque hubo accesiones que a pesar de estar almacenadas en estas condiciones de refrigeración no germinaron, tal vez por lo que se mencionó anteriormente como una manifestación de la interacción del genotipo por el ambiente, en el cual el genotipo de un organismo puede llegar a ser influido por el ambiente. En el caso de las semillas, sería que las

de zonas húmedas que están adaptadas a tener un suministro de agua constante, no soportan la reducción de humedad interna por lo que mueren (Hong & Ellis, 1996).

Las semillas que se conservaron en refrigeración por no estar expuestas a las fluctuaciones ambientales, presentaron tiempos de emergencia más rápidos, mejor desarrollo de plántulas y mayor porcentaje de germinación, generando plántulas con más vigor (Figura 31).



**Figura 32.** Estado de las plántulas de algunas de las accesiones conservadas durante 2 años a condiciones ambientales. Foto: Paula Posada.

Las plántulas obtenidas luego de la germinación de las semillas conservadas al ambiente, presentaron signos visibles de deterioro; puesto que al germinar la apariencia de estas se observaban con falta de vigor y desarrollo (Figura 32).



**Figura 33.** Estado de las plántulas de algunas de las accesiones conservadas durante 2 años a condiciones ambientales, granadilla y gulupa. Fotos: Paula Posada.

### 3.10. Pruebas de vigor

#### 3.10.1. Vigor semillas conservadas al ambiente

Para la prueba con semillas de maracuyá se observó que solo 1 de 47 accesiones (ValFla01) presentó un índice de velocidad de germinación igual a 2,5, lo que denota que obtuvo una germinación del 100% a los 20 días después de la siembra. Es de anotar que las accesiones (ValFla02 y ValFla03) presentaron buen comportamiento del índice de velocidad de germinación (1,30) frente al resto de accesiones evaluadas, ya que en algunos casos estas últimas no presentaron germinación en los 20 días después de la siembra (Tabla 7).

En general se confirma que el almacenamiento al ambiente para las semillas de maracuyá ocasiona una reducción en la velocidad de germinación (estas accesiones germinaban en los 20 o más días de sembradas), debido a que estas semillas germinan normalmente en menor tiempo (12–14 días), resultados que coinciden con Duarte *et al.* (1998) que indican que las semillas de maracuyá germinan después de 14 días de sembradas.

**Tabla 7.** Índice de velocidad de germinación y medición crecimiento para las semillas de maracuyá conservadas al ambiente durante dos años.

Accesión	IVG	mm	No. hojas	Accesión	IVG	mm	No. hojas	Accesión	IVG	mm	No. hojas
AntFla01	0,15	35	3	HuiFla01	0,00	21	2	TolFla07	0,00	23	2
AntFla02	0,00	27	2	HuiFla02	0,00	47	4	ValFla01	2,50	40.1	3
AntFla04	0,00	24	2	HuiFla04	0,10	29	2	ValFla02	1,30	34.4	3
AntFla05	0,00	23	3	HuiFla05	0,00	43	1	ValFla03	1,30	32.6	3
AntFla06	0,00	13	2	HuiFla06	0,30	30	3	ValFla04	0,50	29	3
CalFla01	0,10	34	3	HuiFla07	0,50	49	4	ValFla05	0,05	27	4
CalFla02	0,05	43	3	TolFla01	0,05	44	4	ValFla06	0,80	45	4
CauFla01	0,20	43	4	TolFla02	0,35	38	4	ValFla07	0,10	35	3
CauFla02	0,00	23	3	TolFla03	0,20	39	4	ValFla08	0,15	35	3
CauFla04	0,25	36	3	TolFla04	0,10	25	3	alFla09	0,10	24	3
CauFla05	0,05	22	2	TolFla05	0,05	27	3	ValFla10	0,50	28	3
CunFla02	0,75	51	4	TolFla06	0,15	30	3	-	-	-	-

Para la prueba de las semillas de granadilla no hubo germinaciones por lo tanto no se realizó prueba de vigor, para gulupa, solo cuatro accesiones presentaron germinación CunEdu04, CunEdu07, HuiEdu01, HuiEdu04. Aunque para estas el índice de velocidad de germinación fue igual a cero debido a que su germinación fue después de los 20 días de siembra, y la velocidad de germinación se mide a los 20 días, esta información fue complementada con la prueba de crecimiento y evaluación de las plántulas, las cuales presentaron bajo crecimiento (15 a 20 mm de longitud y 3 hojas) y bajo desarrollo de hojas. Según los resultados de esta prueba, las

semillas también son susceptibles al almacenamiento a condiciones ambientales ya que sufren un grave deterioro, ocasionando la pérdida de vigor de las plántulas.

Los resultados indican que la conservación al ambiente pudo afectar en las semillas la composición química. Por la composición química de las semillas las fluctuaciones ambientales las afectan de tal forma que pueden alterar tanto los niveles como las composiciones dando como origen germinaciones tardías y pérdida de vigor el caso que se presentó en las especies estudiadas.

### 3.10.2. Vigor semillas conservadas en refrigeración

Las semillas de maracuyá conservadas a 4°C presentaron mejor comportamiento en comparación con la prueba de conservación al ambiente, situación que se observó en el mayor promedio de altura de las plántulas evaluadas (58 mm promedio), además, en comparación con el almacenamiento al ambiente mejoró el índice de velocidad de germinación, ya que el 14% de la accesiones evaluadas tuvo un índice igual a 2,5 (CauFla01, CauFla05, ValFla01, ValFla02, ValFla07) lo que denota una adecuada germinación y vigor durante los 20 días después de la siembra (Tabla 8).

**Tabla 8.** Índice de velocidad de germinación y medición de crecimiento para las semillas de maracuyá conservadas a 4°C durante dos años.

Accesión	IVG	mm	Hojas	Accesión	IVG	mm	Hojas	Accesión	IVG	mm	Hojas
AntFla01	2,10	55	3	CunFla02	2,30	76	4	TolFla06	2,05	49	2
AntFla02	2,20	58	3	HuiFla01	1,90	57	3	TolFla07	2,40	56	2
AntFla03	2,10	77	4	HuiFla02	2,10	53	4	ValFla01	2,50	56	3
AntFla04	2,25	56	3	HuiFla03	2,50	61	4	ValFla02	2,50	59	3
AntFla05	1,30	51	3	HuiFla04	2,40	58	3	ValFla03	2,30	47	3
AntFla06	2,45	50	3	HuiFla05	1,85	53	3	ValFla04	2,00	66	4
CalFla01	1,65	52	3	HuiFla06	1,90	63	3	ValFla05	1,90	56	3
CalFla02	1,90	68	3	HuiFla07	2,20	62	3	ValFla06	2,40	57	3
CalFla03	1,80	61	3	TolFla01	2,40	59	3	ValFla07	2,50	58	3
CauFla01	2,50	56	4	TolFla02	2,50	61	3	ValFla08	2,25	52	3
CauFla02	2,45	57	4	TolFla03	2,50	61	2	ValFla09	2,35	13	4
CauFla03	2,45	69	4	TolFla04	0,90	45	2	ValFla10	2,15	60	3
CauFla05	2,50	81	4	TolFla05	1,90	51	3	ValFla11	2,35	63	3

Las semillas de granadilla conservadas a 4°C (Tabla 9) presentaron índices de velocidad de germinación bajos, sólo una accesión del Valle (ValLig04) obtuvo un índice de 2,5 y dos de Caldas (CalLig02 y CalLig02) obtuvieron un índice de 2,4, indicando la buena calidad de estas

accesiones. El resto de las accesiones tuvo índices muy bajos o no germinaron. Tal vez las semillas con buen vigor tengan características en común que les permitieron resistir el almacenamiento. Dichos resultados permiten concluir que para las semillas de granadilla la humedad del 10 al 12% y temperatura de 4°C no son las mejores condiciones para el almacenamiento a largo plazo.

**Tabla 9.** Índice de velocidad de germinación y medición de crecimiento para las semillas de granadilla conservadas a 4°C durante dos años.

Accesión	IVG	mm	Hojas	Accesión	IVG	mm	Hojas
AntLig01	0,95	39	3	CunLig04	0,00	27	2
AntLig02	0,10	35	2	CunLig05	0,05	35	2
AntLig03	0,00	28	2	CunLig06	0,00	35	2
BoyLig01	0,00	20	1	PutiLig01	0,55	33	3
BoyLig02	0,90	37	3	QuiLig04	0,30	26	3
BoyLig03	0,00	27	2	TolLig01	0,55	33	3
BoyLig04	1,70	38	3	TolLig02	0,30	32	3
BoyLig05	0,00	35	2	TolLig03	0,00	25	2
CalLig01	1,40	38	3	ValLig01	0,60	18	2
CalLig02	2,40	35	4	ValLig02	2,00	34	3
CalLig03	1,25	35	4	ValLig04	2,50	35	3
CalLig04	0,45	30	4	ValLig05	1,55	31	4
CalLig05	2,40	32	4	ValLig06	1,55	30	3
CalLig06	2,20	33	4	ValLig07	2,30	29	4
CunLig03	0,00	23	2	~	~	~	~

Para el caso de las semillas de gulupa sólo dos accesiones obtuvieron los mejores índices de velocidad de germinación. Éstas fueron TolEdu02 con un valor de 2,35 y HuiEdu01 con un valor de 2,3. Por otro lado las accesiones HuiEdu02, HuiEdu04, TolEdu01, BoyEdu04 obtuvieron índices por encima de 1, indicando que la mayoría de semillas germinaron aunque el vigor no fuera el mejor. El resto de semillas obtuvo un valor menor a 1 indicando lo susceptible que es esta especie al almacenamiento, aunque las accesiones que lograron germinar al final del periodo de almacenamiento presentaron un buen desarrollo (Tabla 10).

De acuerdo a las observaciones en las germinaciones de las plántulas se puede concluir que la determinación del índice de velocidad de germinación a los 20 días de sembradas las semillas es un parámetro confiable; ya que en este tiempo en los ensayos de germinación realizados, generalmente se contó con el total de las semillas plantadas ya germinadas y en proceso de desarrollo. No obstante otros estudios han realizado la evaluación del índice de velocidad de germinación en pasifloras a un menor tiempo (14 días) y realizando el conteo cada tres días. A pesar de que los estudios difirieron en método se puede inferir que se llegó a un común

resultado, a saber que el maracuyá es la especie que presenta los mayores índices de velocidad de germinación (Lima *et al.*, 2006).

**Tabla 10.** Índice de velocidad de germinación y medición de crecimiento para las semillas de gulupa conservadas a 4°C durante dos años.

Accesión	IVG	mm	Hojas	Accesión	IVG	Mm	Hojas
AntEdu01	0,90	38	4	CunEdu02	0,40	35	3
AntEdu02	0,00	34	3	CunEdu04	0,35	36	4
AntEdu03	0,15	35	3	HuiEdu01	2,30	40	4
AntEdu04	0,20	34	3	HuiEdu02	1,40	33	3
BoyEdu01	0,80	33	4	HuiEdu03	0,00	33	3
BoyEdu02	0,00	31	3	HuiEdu04	1,65	39	4
BoyEdu03	2,15	36	3	PutEdu01	2,00	26	4
BoyEdu04	1,35	42	3	RisEdu01	0,05	22	3
BoyEdu05	0,15	34	3	TolEdu01	1,95	25	3
CunEdu01	0,00	33	3	TolEdu02	2,35	27	4

Por otro lado, São José (1987) comparó los efectos de dos ambientes distintos de almacenamiento de las semillas de maracuyá (condiciones naturales y refrigeración) y concluyó que las velocidades de germinación fueron mayores en las semillas almacenadas al ambiente, caso contrario que ocurre en esta investigación, donde las semillas almacenadas en refrigeración no presentaron un deterioro en su vigor ni en su velocidad de germinación. De hecho el frío aumentó la velocidad de germinación de las semillas. Según Manjkhola *et al.* (2003) el cual el frío es un tratamiento para mejorar la germinación, ya que existe una relación entre el frío y la activación del ácido giberélico de las semillas.

Es así como se puede inferir que el deterioro de las semillas fue menor al conservarlas refrigeradas, las cuales le asegurarán al productor una calidad de plántulas resistentes a la conservación y por lo tanto buenas características de vigor, traducándose en plantas vigorosas y de buen porte para los cultivos enseñan resultados muy positivos para esta especie de gran importancia económica.

#### **4. Conclusiones**

La prueba piloto permitió identificar que el sustrato de arena estéril es el mejor para realizar las pruebas de germinación, debido a la facilidad en el manejo, costos y porcentajes de germinación superiores al 90%.

Las semillas conservadas a 4°C en bolsas herméticas de aluminio durante dos años presentaron los mejores porcentajes de germinación y vigor en las plántulas. Además, cuando las semillas son almacenadas en condiciones ambientales por un largo periodo de tiempo (> 6 meses) presentan deterioro fisiológico afectando la viabilidad.

El protocolo de Hong & Ellis (1996) determinó que la semilla del maracuyá la granadilla y la gulupa presentan un comportamiento ortodoxo frente al almacenamiento. Así mismo, el comportamiento de la semilla está determinado por el nicho ecológico de acuerdo al origen geográfico, ya que en las tres especies estudiadas se presentó una alta variabilidad en el vigor de las plántulas. Estas observaciones permiten concluir que existe una interacción de genotipo por el ambiente que puede influir en el comportamiento fisiológico de la semilla.

El conjunto de resultados sugieren que el maracuyá, la granadilla y la gulupa presentan un proceso de domesticación incipiente y diferentes grados, ya que los porcentajes de germinación y vigor son variables y no sincronizados.

Esta investigación permitirá a los productores e investigadores seleccionar el mejor método para la conservación de semillas de los genotipos de mayor interés, en procesos de selección y mejoramiento genético del maracuyá, la granadilla y la gulupa. Igualmente, contribuye en el manejo y conservación de los recursos genéticos de los frutales neotropicales.

### Definición de zonas agroecológicas óptimas para los sistemas de producción del maracuyá, la granadilla y la gulupa en Colombia

Paula Posada<sup>1,2,3</sup>, John Ocampo<sup>1,2</sup>, Andy Jarvis<sup>2</sup>, Maarten Van Zonneveld<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Colombia sede Palmira

<sup>2</sup>Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT

<sup>3</sup>Bioversity International, Oficina Regional para la Américas

#### Resumen

El maracuyá, la granadilla y la gulupa son especies frutales con gran importancia económica por el consumo de su fruto fresco o procesado en mercados nacionales e internacionales. En Colombia, se cultivan 11.000 has y generan cerca de 2'300.000 jornales/año. A pesar de este potencial, son pocos los estudios sobre la zonificación agroecológica que permita a los productores tomar decisiones acertadas para el establecimiento de los cultivos en zonas óptimas con mejores rendimientos y calidad del fruto. El objetivo de esta investigación es definir las mejores zonas agroecológicas y determinar el efecto del cambio climático en la distribución de los cultivos (año 2050s, escenario SRES-A2) por medio de información primaria y modelación con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Un total de 115 cultivos fueron visitados en 15 departamentos, georeferenciados y caracterizados de acuerdo al manejo agronómico y la calidad fisicoquímica del fruto (sólidos solubles, %pulpa+semilla, %jugo). El análisis de datos se realizó con la ayuda de los modelos de nicho ecológico Ecocrop, Bioclim (Diva-GIS) y Maxent, de acuerdo a la ecofisiología del cultivo establecida. El mejor modelo fue seleccionado con el parámetro de ROC (especificidad/sensibilidad), incluyendo la información de todos los cultivos, las variables escogidas de Bioclim (temperaturas y precipitaciones) y la no presencia en las áreas naturales protegidas. El modelo fue validado con los criterios de expertos, basados en la distribución espacial de las zonas actuales (presencia o ausencia) y potenciales del cultivo, las cuales fueron verificadas en campo y con la ayuda del software Google Earth®. Los resultados establecieron que el mejor modelo se generó con Maxent, mediante la selección de variables de bioclim, la inclusión de todos los cultivos caracterizados, un ROC (0,71) y la concordancia con el criterio de experto. El modelo seleccionado identifica tres zonas de probabilidad de éxito para el establecimiento de los cultivos ( $Z_1$ : 40–60%,  $Z_2$ : 61–80% y  $Z_3$ : >80%). La Zona 3 de mayor probabilidad ( $P > 80\%$ ) se distribuye principalmente en los departamentos del Cauca, Valle del Cauca, Risaralda, Quindío, Caldas, Santander, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Huila y Nariño, cubriendo un total de 3'728.600 has (300 a 1.300 m.s.n.m.) para el maracuyá, 2'259.300 has (1.500 a 2.700 m.s.n.m.) para la granadilla y un área 3'321.100 has (1.500 a 3.100 m.s.n.m.) para la gulupa. El efecto del cambio climático



causará una pérdida drástica de un 74,8% para maracuyá, 39,5% para granadilla y 61,6% para gulupa, pero a su vez aparecen nuevas zonas en altitudes superiores a 1.300, 2.200 y 2.000 m.s.n.m., respectivamente. La vulnerabilidad del cultivo frente al cambio climático dependerá de la capacidad de adaptación de acuerdo a la plasticidad genética de la especie (ecofisiología, genotipo x ambiente) y de las nuevas prácticas agronómicas respecto a la variabilidad climática (temperatura y la precipitación) y la disposición de los recursos naturales y socioeconómicos de cada zona. Finalmente, los resultados permitirán a los productores tomar mejores decisiones para el desarrollo del cultivo y mitigar las pérdidas económicas en el futuro. Además, son la base para posteriores estudios de zonificación que incluyan parámetros más detallados, como mapas de suelos a nivel departamental.

**Palabras clave:** *Passiflora*, frutal, Colombia, zonificación, SIG, cambio climático.

## **Abstract**

The yellow passion fruit, sweet passion fruit and purple passion fruit are fruits species economically important to the consumption of fresh fruit or processed in national and international markets. In Colombia, grown 11,000 has and generate about 2'300,000 wages/year. Despite of this potential, there are few studies on the agro-ecological zoning to allow producers to make sound decisions for crop establishment in areas with better yields and optimum fruit quality. The objective of this research is to define the best agroecological zones and determine the effect of climate change on the distribution of crops (year 2050s, SRES-A2 scenario) through primary data and modeling with Geographic Information Systems (GIS). A total of 115 cultures were visited in 15 departments, georeferenced and characterized according to agronomic and chemical quality of the fruit (soluble solids, % pulp+seed, %juice). Data analysis was performed with the help of ecological niche models Ecocrop, Bioclim (Diva-GIS) and Maxent, according to the established crop ecophysiology. The best model was selected with the parameter of ROC (specificity/sensitivity), including information on all crops, the Bioclim chosen variables (temperature and precipitation) and no presence in the protected areas. The model was validated with expert judgment, based on the spatial distribution of current areas (presence or absence) and potential crop, which were verified in the field and with the help of Google Earth© software. The results established that the best model was generated with Maxent, by selecting bioclim variables, including all crops characterized, a ROC (0.71) and the correlation with the expert criteria. The selected model identifies three areas of probability of success for crop establishment ( $Z_1$ : 40-60%,  $Z_2$ : 61-80% and  $Z_3$ : > 80%). The zone 3 high of probability ( $P > 80\%$ ) is distributed mainly in the departments of Cauca, Valle del Cauca, Risaralda, Quindio, Caldas, Santander, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Nariño and Huila, covering a total of 3'728,600 has (300-1300 m.a.s.l.) for passion fruit, 2'259,300 has (1500-2700

m.a.s.l.) for sweet passion fruit and an area 3'321,100 has (1,500-3,100 m.a.s.l.) for purple passion fruit. The effect of climate change will cause a dramatic loss of 74.8% for passion fruit, granadilla and 39.5% to 61.6% for gulupa, but in turn there are new areas at elevations above 1,300, 2,200 and 2,000 m, respectively. The growing vulnerability to climate change will depend on the ability to adapt according to the genetic plasticity of the species (ecophysiology, genotype x environment) and new agronomic practices regarding climate variability (temperature and precipitation) and the provision of natural and socioeconomic resources of each area. Finally, the results allow producers make better decisions for crop development and mitigate the economic losses in the future. They are the basis for further studies that include zoning more detailed parameters such as soil maps at the departmental level.

**Keywords:** Passiflora, fruity, Colombia, zoning, GIS, climate change.

## **1. Introducción**

El maracuyá, la granadilla y la gulupa, pertenecen al género *Passiflora*, el más importante de la familia *Passifloraceae* y está distribuida principalmente en el neotrópico (Ulmer & McDougal, 2004) esta familia posee una gran diversidad de especies en Colombia, con un total de 167 especies y la mayor concentración (81%) en la región andina (Ocampo *et al.*, 2007), donde de igual forma se encuentran las mayores áreas de cultivos. Para el 2010 el área cultivada en el país era para el maracuyá de 5.894 ha, granadilla 4.502 ha y en gulupa 815,9 ha (MADR, 2011). A nivel internacional estas especies son de suma importancia económica, el maracuyá es cultivado en países como Brasil, Perú Ecuador, Venezuela, Colombia, Costa Rica y México, la granadilla en Colombia, Perú, Ecuador, Venezuela y Costa Rica y la gulupa en Colombia, Brasil, Perú, Andes tropicales, Kenia, Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda e India. Todos estos con importantes áreas de cultivos. Es así como la diversidad tanto de esta región que alberga estas especies como a nivel mundial se está viendo afectada por el acelerado crecimiento de la población que causa una presión a los recursos naturales cada vez más fuerte. La producción mundial agrícola debe aumentar, esto a costa de la expansión de tierras para cultivos, reduciendo así las áreas de conservación (bosques, páramos, manglares, etc.) a áreas que no son aptas para el desarrollo de estas actividades productivas. Es aquí cuando se hace importante emprender la búsqueda de soluciones acertadas a diferentes problemas que atraviesa la agricultura moderna como base para desarrollar una agricultura sostenible. La metodología de la zonificación agroecológica es un solución a este problema de establecimiento de plantaciones comerciales en zonas naturales protegidas; las zonas agroecológicas se definen como aquellas que tienen combinaciones similares de clima, características de suelo, y el mismo potencial biofísico para la producción agrícola (FAO, 1997). La metodología de la zonificación agroecológica (ZAE) se usa desde 1978. De acuerdo con los criterios de FAO, define zonas basadas en combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas, que conducen a una evaluación de la aptitud y productividad potencial de tierras. Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo bajo los que éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos. Los resultados de las aplicaciones básicas incluyen mapas que muestran zonas agroecológicas y aptitud de tierras, la cantidad estimada de las áreas de cultivo potenciales, cosechas y producción (FAO, 1997).

Otras ideas aplicadas a la zonificación agroecológica son la agricultura específica por sitio y la agricultura de precisión, que han sido innovaciones por parte de los mismos agricultores, en el

siglo pasado se planteaban como sinónimas, pero en la actualidad y sobre todo en Colombia estas difieren, la Agricultura de precisión (AP) se asocia con el manejo dentro de un lote y la Agricultura Específica (AEPS) por Sitio a un manejo diferencial entre lotes (Cock *et al.*, 2011).

Estas metodologías de mejorar la agricultura no serían posibles sin el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que se desarrollan, por tanto, como una tecnología que permite el manejo y el análisis de los datos geográficos (Gantz, 1990; Lang & Speed, 1990), los cuales mediante el uso de software, hardware y el personal permiten almacenar, analizar, modelar y representar esos datos geográficos de forma referenciada con el fin de realizar planificaciones y gestiones (GBIF, 2012). En el caso de la agricultura se generan mapas alimentados con bases de datos compuestos de variables como los suelos, datos climáticos, producciones, etc., los cuales aportan para generar mapas de acuerdo a las necesidades de investigación. A nivel nacional se han adelantado estudios con el uso de los sistemas de información geográfica por algunos sectores de la agricultura, como es el caso del sector cañicultor es tal vez es el que presenta mayores avances en este ámbito.

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA) ha sido el pionero en las investigaciones en ZAE, AP y AEPS en Colombia. En 1983 realizó la primera aproximación de la zonificación del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* spp.). En total hasta el 2011 han publicado cuatro aproximaciones de zonificación, esta última identificando un total de 156 zonas agroecológicas, que se caracterizan por la condición de humedad y agrupación de los suelos según taxonomía, posición geomorfológica, régimen de humedad, familia textural y drenaje, utilizando el estudio semi-detallado de suelos del IGAC-CVC y asignándole a cada suelo una calificación con base en el balance hídrico y la permeabilidad, incluyendo pautas sobre AP (Carbonell *et al.*, 2011). Por otro lado, el IGAC (2002) realizó la zonificación agroecológica para el territorio colombiano dado por 76 zonas, delimitadas fundamentalmente por su clima, paisaje y algunos aspectos del relieve y de la erosión. También Ríos *et al.* (2004, 2006) han realizado investigaciones de zonificación agroecológica en cultivos de gran importancia económica como el lulo (*Solanum quitoense*) en el eje cafetero mediante análisis multivariados y SIG, identificaron cinco sistemas de producción según las condiciones del suelo y clima de las zonas, Igualmente, realizaron el estudio de la zonificación de los sistemas de producción de cultivos de naranja común (*Citrus sinensis* Osbeck) en el departamento de Cundinamarca, con análisis multivariados de los cultivos y cruzando esta información con los mapas de suelos, obtuvieron las unidades biofísicas homogéneas identificando tres sistemas de producción. García *et al.* (2005) zonificaron a escala regional las tierras del trópico bajo colombiano con potencialidad para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) de acuerdo a criterios edáficos (estudios de suelos) y climáticos, planteando las mejores zonas que presenten menores restricciones de suelos y clima, obteniendo para el país 18 clasificaciones. Jiménez *et al.* (2009)

realizaron un estudio de los modelos de producción que se pueden desarrollar en mora (*Rubus glaucus*) en todo el país, con el uso de información como: profundidad del suelo, temperatura media, drenaje y precipitación, para determinar sitios de alta productividad. En *Passiflora*, Segura *et al.* (2003) informaron de un primer mapa de la distribución potencial de las cinco especies del subgénero *Tacsonia* en los países andinos, Ocampo *et al.* (2007) estudiaron la distribución, diversidad, grado de amenaza, importancia ecológica y necesidades de conservación de la familia *Passifloraceae* en Colombia. Martínez *et al.* (2009) publicaron su investigación sobre la zonificación de los cultivos de granadilla en el departamento de Cundinamarca, clasificando las tierras según su calidad, encontrando que lo que más determina la productividad es la calidad de suelos y los factores climáticos en los que se desarrollen los cultivos; de igual forma para el Huila (García & Ortiz, 2005), realizaron la zonificación para siete frutales incluidos el cultivo de maracuyá y granadilla en la cual utilizaron 4 niveles de clasificación.

Como es de esperar la distribución geográfica de las especies en la tierra no es un proceso estático, este es cambiante, y más aún, con el fenómeno del cambio climático, el cual afecta directa o indirectamente las especies, individuos y poblaciones generando pérdida de hábitats y nuevas distribución de las especies en el tiempo (Peterson *et al.*, 2002; Parmesan, 2006; IPCC 2007; Janetos *et al.*, 2008). Predicciones climatológicas del IPCC indican que a nivel mundial en los siguientes cien años podría incrementarse la temperatura entre 1,1 y 6,4°C (IPCC, 2007), con un grado de incertidumbre, pero mediante la modelación se puede inferir una situación muy similar o aproximada de lo que ocurrirá por este fenómeno.

Las especies objeto de estudio, están en una zona muy sensible a dichos cambios climáticos y según Cuesta (2008), la región andina se verá seriamente afectada, ya que las especies de plantas que tengan distribución en esta área, tendrán una consistente contracción de los nichos climáticos aproximadamente del 36% según el escenario A2 para el 2050. Matur *et al.*, (2012) indican por otro lado que el cambio climático tendrá un impacto en los cultivos hortícolas, debido a la irregularidad de las precipitaciones además de la demanda de recursos hídricos y el incremento del estrés biótico y abiótico afectando la productividad. Sin embargo los cambios no serán solo perjudiciales, ya que las concentraciones de CO<sub>2</sub> pueden promover más la fotosíntesis y el aumento de las temperaturas pueden acelerar el proceso de madurez aun que afecta la biología de la reproducción. Dando a conocer todas estas problemáticas es necesario conocer las necesidades de los cultivos, para esto se realiza la zonificación agroecológica de estas pasifloras conociendo características de cada cultivo, como son el rango de distribución geográfica, y necesidades bioclimáticas con el fin de determinar en qué áreas estos tienen una producción de mejor calidad, además del cambio en la distribución según el calentamiento global, lo que es de gran utilidad, para conocer qué áreas seguirán siendo las más productivas,

cuales se perderán, cuales se ganarán y el manejo que se le debe dar a esta situación, este comportamiento es posible en las pasifloras ya que poseen una gran plasticidad genética dada su adaptación a distintos nichos ecológicos, los cuales son claves para lograr la perpetuación de las especies frente al cambio climático.

La modelación realizada tiene en cuenta las accesiones sobresalientes del país, así identificando tanto las áreas más óptimas, como los mejores materiales, se puede obtener una importante pauta para garantizar mayor éxito en las producciones para los agricultores, finalmente teniendo en cuenta que la zonificación se realizará eliminando las zonas que coincidan con las áreas protegidas ya que el fin es generar una agricultura ecoeficiente.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1. Área de estudio**

El estudio se realizó en el territorio colombiano; Colombia está situada en el norte de América del Sur, entre los 12° 26 '46 "N y 4° 13' 30" S y entre los 66° 50' 54" W y 79° 02' 33" W, con una superficie de 1.141.748 km<sup>2</sup>, con un rango altitudinal desde el nivel del mar hasta 5.775 m (IGAC, 2010), Está dividida en 32 departamentos. Su territorio es atravesado de sur a norte por la Cordillera de los Andes que se ramifica en tres cordilleras a partir del nudo de los Pastos y el Macizo Colombiano, estas forman valles interandinos donde se desarrollan cultivos de diversa índole, como es el caso del maracuyá, la granadilla y la gulupa.

### **2.2. Material vegetal**

Las bases de datos con las que se modeló fueron compiladas por Ocampo *et al.* (2009) mediante la colecta y caracterización físico-química de los frutos de 110 accesiones de pasifloras cultivadas: de maracuyá (36), granadilla (48) y gulupa (26), provenientes de 11 departamentos y 59 municipios colombianos, Se han identificado tres centros principales de dispersión de semillas, (I) maracuyá (La Unión, Valle del Cauca), (II) gulupa (Venecia, Cundinamarca) y (III) granadilla (Urrao, Antioquia), justificando la alta homogeneidad los cultivos en Colombia, dentro del programa del proyecto “Aprovechamiento de la diversidad del maracuyá amarillo (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener), la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims) y la granadilla (*P. ligularis* Juss.) para mejorar y diversificar los sistemas de producción en Colombia, I Informe Anual”. Las colectas en campo (Tabla 1) de maracuyá, granadilla y gulupa fueron

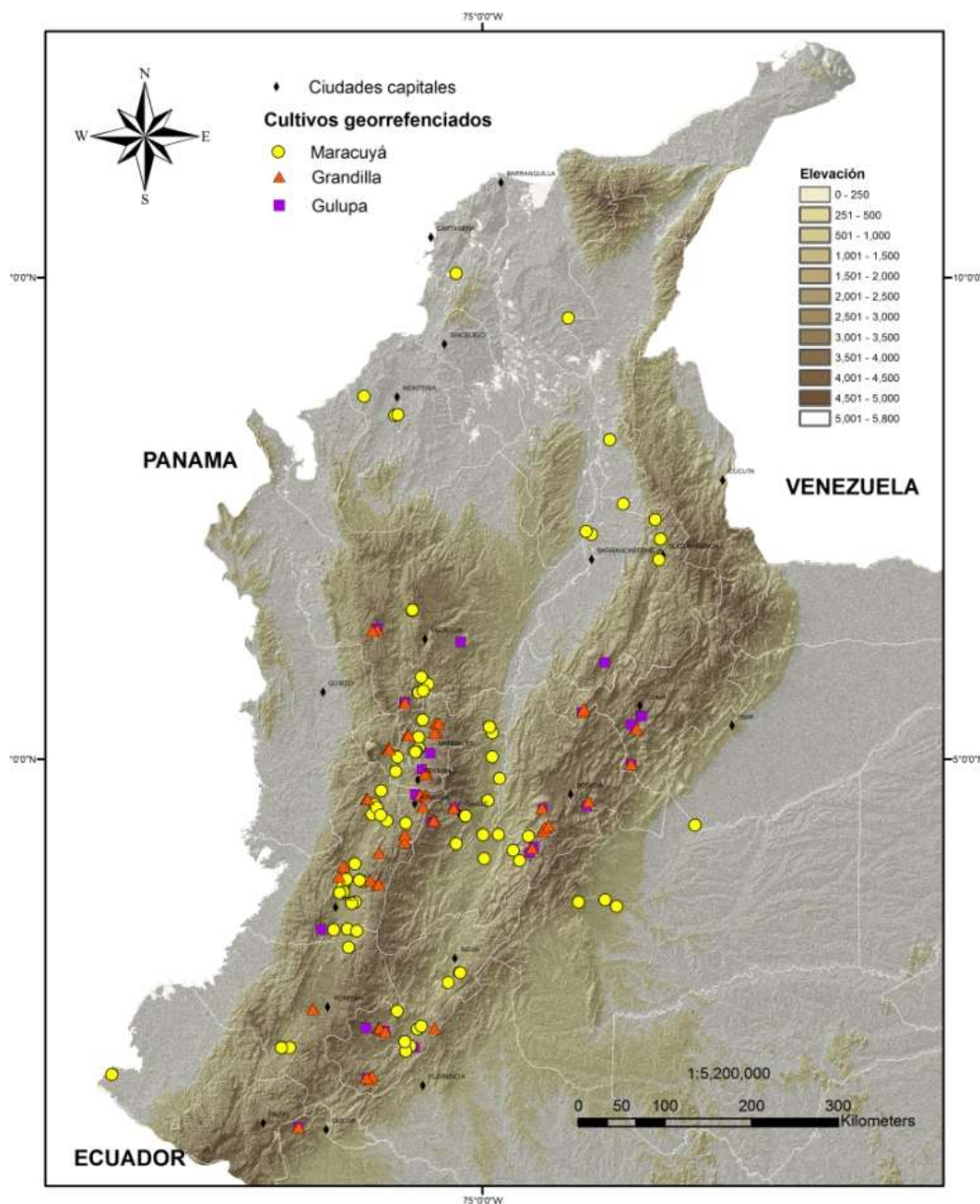
realizadas entre septiembre de 2008 y junio de 2009. Las localidades fueron seleccionadas con base en la distribución geográfica de cada especie, permitiendo una buena representación a nivel de zonas agroecológicas (Figura 1). La selección de cada zona fue realizada con la ayuda del programa biogeográfico Diva-GIS.

**Tabla 1.** Número de cultivos (accesiones) por departamentos incluidos en el estudio.

Departamento	Especie		
	Maracuyá	Granadilla	Gulupa
Antioquia	5	3	4
Boyacá	0	5	5
Cundinamarca	0	6	3
Caldas	5	7	1
Cauca	3	0	0
Huila	6	7	4
Putumayo	0	1	1
Tolima	7	3	2
Quindío	0	5	2
Risaralda	0	4	1
Valle del Cauca	11	7	1

La información recolectada en los sitios de muestreo fue la posición geográfica con ayuda del GPS (longitud, latitud y elevación), el sistema de siembra, las prácticas agronómicas, origen de las semillas y el área cultivada; se realizó también la colección de frutos los cuales fueron tomados de las mejores plantas y de estos se seleccionó los mejores, tanto para evaluar las características de calidad como para conservar y estudiar el comportamiento fisiológico de la semilla, y con estas establecer el banco de germoplasma tanto *in situ* como *ex situ*. Las características que debía cumplir un fruto para ser considerado de calidad son: un buen estado fitosanitario, buena productividad basados en la norma técnica de calidad NTC 4101 que es para granadilla pero que se aplicó a los tres cultivos, la cual indica que fruto tiene calidad Extra (ICONTEC, 1997).

Luego de recolectar el material vegetal se realizó una evaluación fisicoquímica de los frutos, con estas evaluaciones se construyó otra base de datos de las características de los cultivos que fueron muestreados, las características que se evaluaron para los frutos fueron: Peso del fruto (PFR), longitud (LFR), diámetro ecuatorial (DFR), peso de pulpa + semilla (PPMS), peso cascara (PCAS), índice de semilla (IS), porcentaje pulpa (%pulpa), porcentaje jugo (%jugo) y contenido de sólidos solubles SST (°Brix).



**Figura 1.** Mapa de distribución de las accesiones de maracuyá, granadilla y gulupa estudiadas.

### 2.3. Cultivos de Calidad

Los cultivos de calidad fueron seleccionados entre todos los cultivos caracterizados en la colecta (Tabla 2), se determinaron según una categorización de parámetros como son los sólidos solubles ó °Brix  $\geq 14,5$ , % pulpa  $\geq 50\%$ , % jugo  $\geq 45\%$ , etc., según el criterio de experto (Ocampo, 2010).



**Tabla 2.** Lista de cultivos seleccionados de acuerdo a la calidad del fruto.

Especie	Departamento	Código	No. accesiones
<b>Maracuyá</b>	Valle del Cauca	ValFla	2
	Tolima	TolFla	1
	Huila	HuiFla	1
	Caldas	CalFla	1
	Cauca	CuaFLa	1
	Antioquia	AntFla	2
<b>Granadilla</b>	Boyacá	BoyLig	2
	Valle del Cauca	ValLig	1
	Cundinamarca	CunLig	4
	Tolima	TolLig	3
	Huila	HuiLig	1
	Putumayo	PutLig	1
	Caldas	CalLig	1
	Quindío	QuiLig	1
	Risaralda	RisLig	2
<b>Gulupa</b>	Boyacá	BoyEdu	3
	Cundinamarca	CunEdu	2
	Tolima	TolEdu	1
	Huila	HuiEdu	1
	Antioquia	AntEdu	3
	Quindío	QuiEdu	2
	Risaralda	RisEdu	1
	Caldas	CalEdu	2
	Valle del Cauca	ValEdu	1

#### **2.4. Información edafológica para la zonificación agroecológica**

Para lograr el objetivo de zonificación agroecológica es necesario tener en cuenta los parámetros de suelos, ya que si no se tiene en cuenta la importancia del suelo en esta zonificación se trataría solo de una zonificación agroclimática (FAO, 1997). Aunque en la generación de los modelos no se incluyen los datos de los suelos por ser de una escala muy general (a nivel de orden) y no explican muchas características, si se explican en qué tipos de suelos se encuentran los cultivos actuales y las características de estos a nivel de orden, además como el suelo es determinante en el cultivo, las zonas donde sea apto climáticamente se espera que cumplan con las características edafológicas que exigen los cultivos. Se pueden establecer cultivos en estos tipos de suelos y para obtener las mejores calidades en las producciones, se aconseja realizar estudios del suelo donde se desea cultivar que cumplan con las condiciones óptimas que necesitan estos cultivos para desarrollarse, ya que se debe tener en cuenta que los

frutales son altamente influenciados por la fertilización que se les realice, el aporte edáfico es importante, pueden ser suelos pobres pero se desarrollaran buenos cultivos con la fertilización y manejo agronómico. Se utilizará la capa del mapa de suelos del IGAC a nivel de orden para el país (Figura 2) como información de las características más generales de los suelos en las zonas de producción actuales.



**Figura 2.** Mapa suelos de Colombia clasificado a nivel de orden taxonomico. Fuente: IGAC (2005).

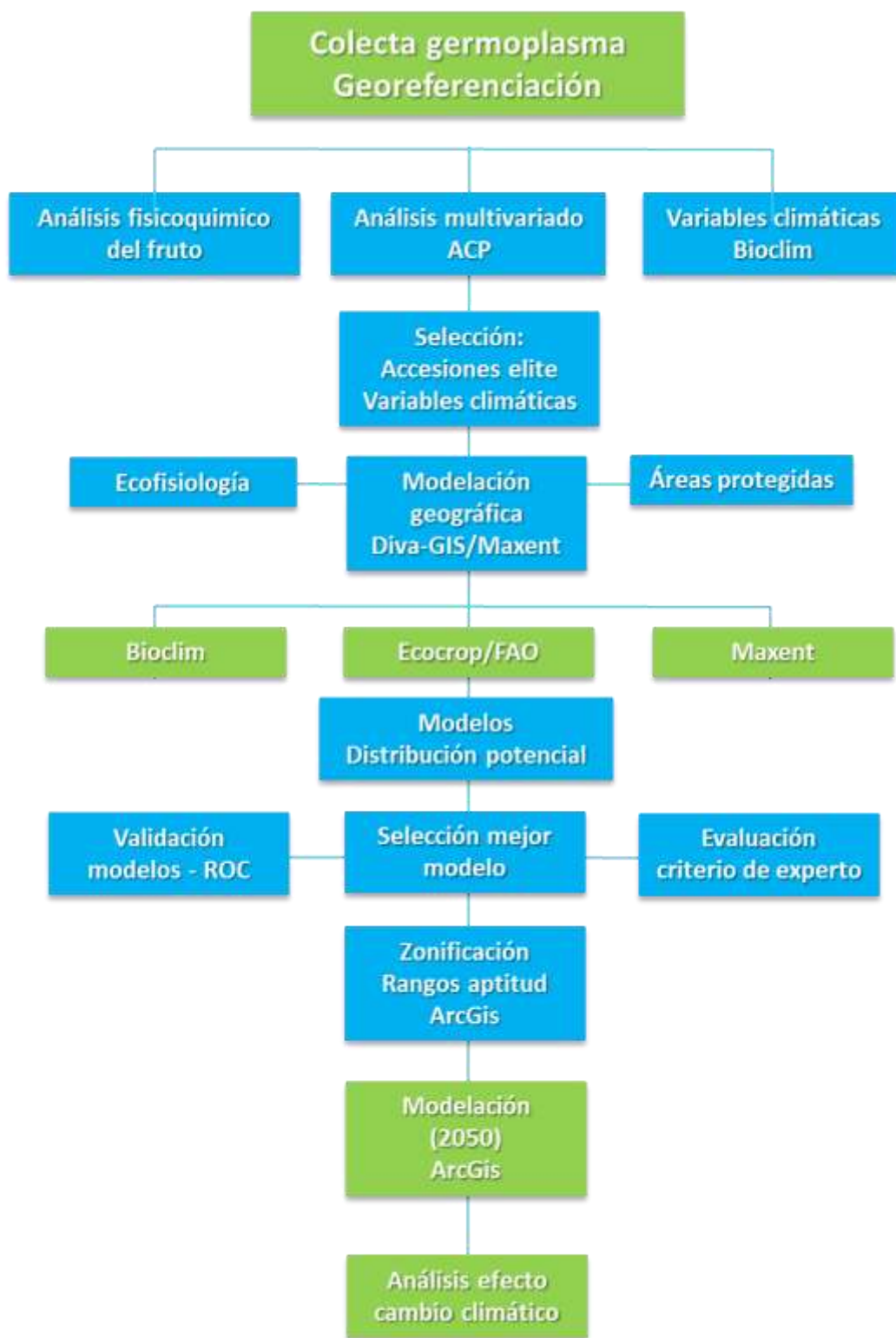
## 2.5. Modelación – SIG

Para la determinación de las zonas agroecológicas fue necesario realizar una serie de procesos (Figura 3) de toma y procesamiento de datos, este proceso inició con las colectas de germoplasma en los diferentes cultivos, luego se generó una base de datos de distintas variables que definen la calidad de fruto ( $^{\circ}$ Brix, %pulpa, % jugo, etc.), junto con los datos geográficos de las zonas de colecta (latitud, longitud y altitud), que determinan las características tanto climáticas como geográficas de estas zonas. Para la espacialización de los modelos se utilizaron otras bases de datos históricos (19 bioclimas), como es la de WordClim, que posee la información en variables bioclimáticas (Tabla 3) de todo el planeta desde 1950, con una resolución de 30 segundos (Hijmans *et al.*, 2005). En primer lugar se realizaron correlaciones entre los descriptores de los frutos versus el bioclima, para observar cuáles eran las variables que más se relacionan, luego se ejecutó un análisis de componentes principales (ACP) de las variables climáticas para seleccionar los que se tuvieron en cuenta a la hora de modelar.

**Tabla 3.** Variables bioclimáticas utilizadas para la modelación.

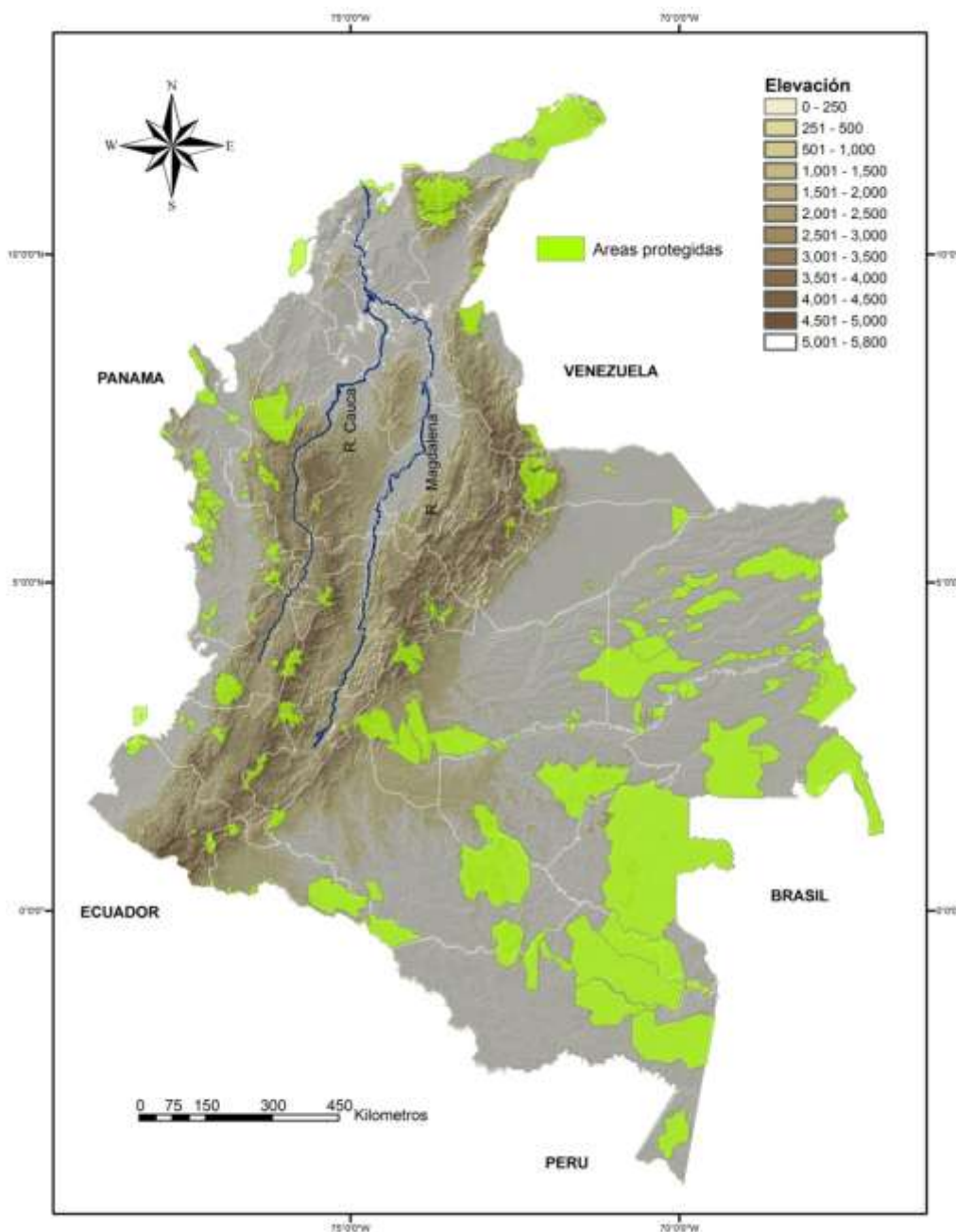
Código	Variable	Cálculo	Unidad
Bio1	Temperatura promedio anual		( $^{\circ}$ C)
Bio2	Oscilación diurna de la temperatura		( $^{\circ}$ C)
Bio3	Isotermalidad	(Cociente entre variables 2 y 7)	( $^{\circ}$ C)
Bio4	Estacionalidad de la temperatura	(Coeficiente de variación en %)	
Bio5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido		( $^{\circ}$ C)
Bio6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío		( $^{\circ}$ C)
Bio7	Oscilación anual de la temperatura	(Cociente entre variables 5 y 6)	( $^{\circ}$ C)
Bio8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso		( $^{\circ}$ C)
Bio9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco		( $^{\circ}$ C)
Bio10	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido		( $^{\circ}$ C)
Bio11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío		( $^{\circ}$ C)
Bio12	Precipitación anual		(mm)
Bio13	Precipitación del periodo más lluvioso		(mm)
Bio14	Precipitación del periodo más seco		(mm)
Bio15	Estacionalidad de la precipitación	(Coeficiente de variación, en %)	
Bio16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso		(mm)
Bio17	Precipitación del cuatrimestre más seco		(mm)
Bio18	Precipitación del cuatrimestre más cálido		(mm)
Bio19	Precipitación del cuatrimestre más frío		(mm)

Fuente: <http://biogeo.berkeley.edu/worldclim/worldclim.htm>



**Figura 3.** Esquema metodología para generar la zonificación agroecológica.

Además de la información edafológica y climática para la modelación, se utilizó la capa del mapa de áreas protegidas de Colombia (Figura 4); al obtener el modelo final se realizó una limpieza de las zonas agroecológicas que resultaron óptimas para que no interfieran con estas áreas de conservación de la biodiversidad, ya que el objetivo de esta investigación es generar información para que los productores puedan desarrollar una agricultura ecoeficiente.



**Figura 4.** Mapa de áreas protegidas de Colombia utilizado para la limpieza de áreas de zonificación (resguardos indígenas, parques nacionales naturales, etc.).

### **2.5.1. Procesamiento de datos**

Para modelar se realizó un procesamiento de los datos que se utilizaron, tanto los climáticos como los obtenidos de las colectas, los cuales fueron analizados para saber cuáles redundaban y cuáles eran los que más aportaban para la modelación; con el software *Statistica 7.0* se realizaron los procedimientos estadísticos como son correlaciones y análisis de componentes principales a continuación se detallan la función de cada uno.

### **2.5.2. Correlaciones**

Se realizaron las correlaciones con el fin de determinar las variables bioclimáticas que influían en la calidad del fruto y así identificar que especie era menos susceptible a las variaciones ambientales y que se adapte más fácilmente.

### **2.5.3. Análisis de componentes principales - ACP**

Se realizó el análisis de componentes principales (ACP) para identificar cuáles de las 19 variables bioclimáticas influían en la calidad del fruto, y así modelar sólo con las seleccionadas para evitar redundancia en los datos. Estos se escogieron de acuerdo a la explicación de la variabilidad de los datos, los cuales debían explicar un porcentaje mayor al 50% para tomar los componentes, luego para cada variable el aporte a los componentes también debió ser a partir del 50%, para tomar unas variables como significante pero sólo las que tuvieran valores positivos.

## **2.6. Rangos aptitud en la zonificación**

La selección de los rangos de zonificación se realizó de acuerdo a la aptitud para el desarrollo del cultivo en las diferentes zonas, se establecieron tres categorías de aptitud (Tabla 4), el cultivo tendrá un desarrollo óptimo en las zonas con una probabilidad >80%, en las cuales las características ambientales son las más similares a las condiciones ecofisiológicas de las plantas según su dispersión natural.

**Tabla 4.** Rangos para zonificación según aptitud del cultivo.

<b>Zona</b>	<b>Rango de aptitud</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Color asignado</b>
1	Baja	40 – 60%	Azul
2	Media	61 al 80%	Amarillo
3	Buena	> 80%	Rojo

Finalmente con la utilización de diferentes Sistemas de Información Geográfica (SIG) se determinó en todo el territorio nacional la presencia de zonas agroecológicas idóneas, los modelos que se utilizaron fueron Maxent y otros del software DIVA GIS 7,2, con los cuales se pueden realizar modelos de dispersión geográfica de especies y distribución del comportamiento ambiental mediante variables bioclimáticas, una descripción más detallada de estos se realiza a continuación:

## **2.7. Modelos y software utilizados**

### **2.7.1. Maxent**

Modelo gratuito que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie, sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental, según esta distribución, coincide con su media empírica. El resultado del modelo expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales (Phillips *et al.*, 2006).

### **2.7.2. Software Diva GIS**

DIVA-GIS es un software de libre acceso, que permite mapear patrones geográficos, ecológicos, genéticos y analizar datos de distribución biológica de especies para seleccionar sitios para la conservación *in situ* (Hijmans *et al.*, 2004) con la ayuda de bases de datos climáticas (Worldclim). Este también permite modelar la distribución real y potencial de las especies o cultivos para el presente y el futuro (cambio climático, algoritmos BIOCLIM y DOMAIN).

#### **2.7.2.1. FAO Ecocrop con Diva-GIS**

Modelo incluido dentro del software Diva-Gis, sobre los requerimientos ecológicos de los cultivos (FAO), utiliza los umbrales de temperatura y precipitación con el fin de evaluar la idoneidad de un determinado lugar para establecer una especie de cultivo por medio de la base de datos WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005).

El modelo cuenta con 10 parámetros diferentes (figura 5): **Tkill**, temperatura a la que la cosecha muere en grados Celsius; **Tmin**, temperatura mínima a la que el cultivo crezca en grados Celsius), **Topmin** (temperatura mínima óptima en la que el cultivo crece en grados centígrados), **Topmax** (temperatura máxima óptima en la que el cultivo crece en grados centígrados), **Tmax**



(temperatura máxima a la que el cultivo crece en grados Celsius), **Rmin** (cantidad mínima de agua de lluvia necesaria para que el cultivo crezca en mm), **Ropmin** (mínimo óptimo de el agua de lluvia necesaria para que el cultivo crezca en mm), **Ropmax** (cantidad máximo óptimo de agua para los cultivos a crecer en mm), **Rmax** (cantidad máxima de agua de lluvia por debajo del cual el cultivo crece en mm), **Gmin** (duración mínima de la etapa de crecimiento del cultivo en días; y **Gmax**, duración máxima de la etapa de crecimiento del cultivo en días (CIAT, 2011).

a.

b.

c.

**Figura 5.** Parámetros por defecto de Ecocrop para los cultivos según Ecocrop. **a.** Maracuyá, **b.** Granadilla, **c.** Gulupa

### 2.7.2.2. FAO Ecocrop ajustado con ecofisiología

Dado que los parámetros de ecofisiología que le ha otorgado la FAO al modelo de Ecocrop son diferentes al compararlos con la ecofisiología que se conoce en Colombia de estos cultivos, se realizó una re-parametrización para los modelos, ya que al realizarlos presentaron



inconsistencias tanto con la consulta bibliográfica, como con el criterio de expertos de las áreas en que se desarrollan los cultivos objeto de estudio en esta investigación.

### **2.7.2.3. Bioclim con DIVA-GIS**

Es un modelo de nicho ecológico incluido en el software Diva-Gis, es un algoritmo de envoltura climática, el cual permite extraer datos climáticos a partir de bases de datos de clima para localizaciones puntuales (en un archivo de puntos activos). Trata de encontrar una regla sencilla para identificar áreas con clima similar a los lugares de la ocurrencia de la especie. Genera para la especie un rango ecológico de  $n$  dimensiones, siendo  $n$  el número de variables predictorias, mediante un análisis de la distribución de los registros de presencia sobre cada variable ambiental (Hijmans *et al.*, 2004).

### **2.7.3. Software ArcGIS 9.3**

ArcGis es una serie integrada de software de Sistemas de Información Geográfica que trabaja como un motor compilador de información geográfica alfanumérica (Bases de Datos) y gráfica (Mapas). Su arquitectura está elaborada de tal manera que sus herramientas entregan sistemas inteligentes de información geográfica. Este incluye las herramientas y los procedimientos que permiten analizar datos espaciales y visualizar fácilmente (ESRI, 2011).

## **2.8. Selección del mejor modelo**

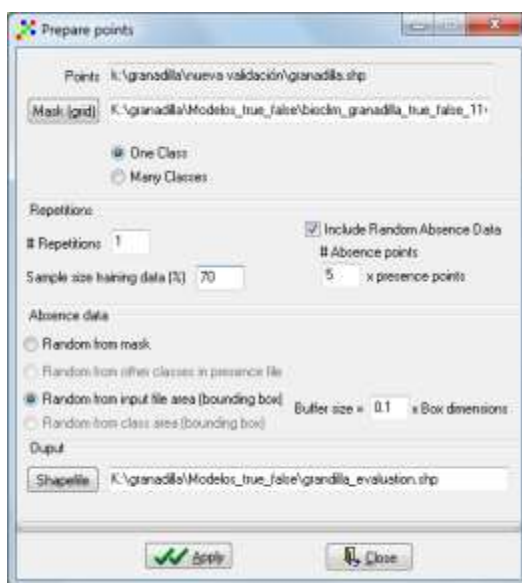
Luego de obtener los 10 modelos para cada cultivo se realizó la selección del mejor modelo mediante tres metodologías, por validación de presencia ausencia, por criterio de experto y parámetro ROC.

### **2.8.1. Validación de los modelos a utilizar**

Luego de realizar todos los mapas se evaluó dos de los modelos que a simple vista se observó que arrojaron los mejores resultados, estos fueron los modelos (Bioclim y Maxent) se procedió a realizar una validación de cada modelo para determinar que tan acertados son las predicciones de dichos modelos. La forma en la que se realizó la validación fue modelar con un porcentaje del 30% del total de los datos con que se contaba y validar con el restante 70% de puntos, si coincidían en su ubicación con las áreas de distribución generadas; cuando más puntos coincidieran con la zona modelada se consideró que el modelo era el mejor por tener un buen rango de predicción.

### 2.8.2. Evaluación por parámetro ROC

El parámetro ROC (Receiver Operating Characteristic ó Característica Operativa del Receptor)) del software Diva-Gis, permite analizar la sensibilidad del modelo de acuerdo al área bajo la curva (Phillips *et al.*, 2006), esta se realizó evaluando una cantidad de puntos de la base de datos de las colectas, se modela con el 70% y se avalúa con el 30% (Figura 6) el software arroja unos parámetros sobre la calidad de cada modelo, en esta caso se utilizará el AUC (Área bajo la curva) para determinar e modelo que presente el mejor ajuste (Fielding & Bell 1997).

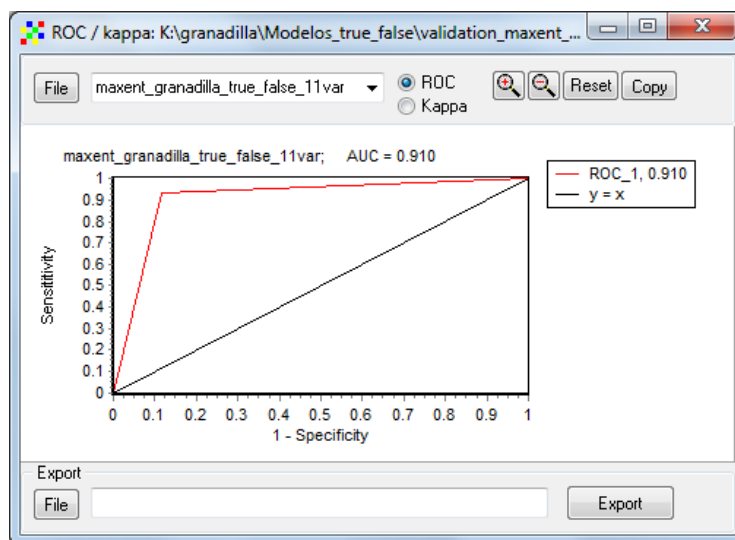


**Figura 6.** Parámetros usados para calcular el AUC en los modelos.

El parámetro ROC (Figura 7) arroja valores entre 0 y 1 los valores mayores a 0,5 indican que el modelo tiene poder predictivo, los mayores a 0,9 que la precisión del modelo es buena y 1 significa una discriminación o un modelo perfecto (Figura 8). El análisis ROC es aceptado como un método estándar para evaluar la exactitud de los modelos de distribución predictiva (Elith *et al.*, 2011).



**Figura 7.** Evaluación del modelo con el parámetro ROC.



**Figura 8.** Ejemplo de una evaluación con el parámetro ROC.

### **2.8.3. Evaluación por criterio de experto**

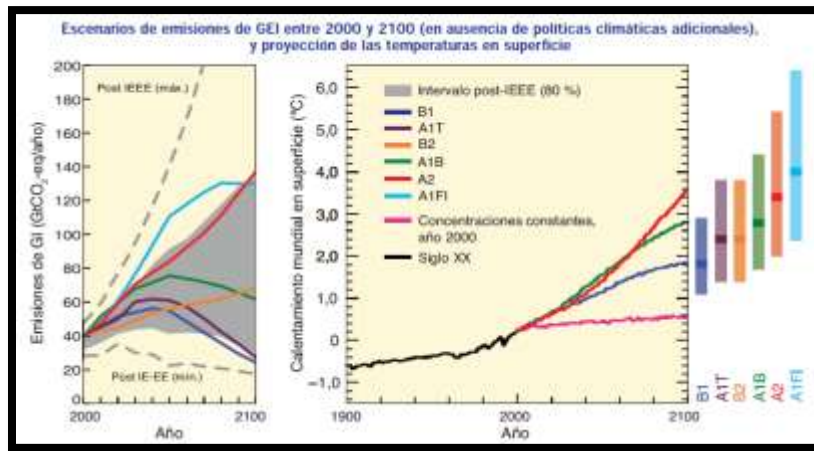
Para la selección del modelo por medio del criterio de experto (Ocampo, comunicación personal, 2011), se tuvo en cuenta el conocimiento ambiental del territorio nacional adquirido por experiencia de campo anterior, también por las colectas del material vegetal y desarrollo de las bases de datos durante el proyecto, de igual forma se tuvo en cuenta las condiciones socioeconómicas de las zonas que arroja el modelo como óptimas, la selección del modelo se realizó con observación visual de las zonas marcadas como óptimas y confirmación de ellas mediante información tanto primaria como secundaria obtenida en las colectas y consultada durante la investigación, se otorgó una calificación a cada modelo para asignarle un puntaje el cual define que modelo es el mejor.

### **2.9. Cambio climático y Modelación a futuro**

El cambio climático se refiere al incremento de la temperatura del planeta por el impacto de los niveles crecientes de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso que se encuentran atrapados en la atmósfera. Este aumento gradual de la temperatura tiene consecuencias importantes para los animales, las plantas y los patrones climáticos. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), que incluye a 2.000 científicos y expertos de 154 países, ha advertido en el último informe que el daño podría ser irreversible (IPCC, 2007). De acuerdo a los diferentes escenarios de cambio climático se escogió modelar con el escenario A2 (Figura 9), el cual se caracteriza por ser muy

heterogéneo, el cual presenta un continuo crecimiento de la población, un desarrollo tecnológico más lento, etc., se realizará en el software MAXENT para el año 2050 (escenario SRES-A2), este se realizará con el modelo que se seleccione como el de mejor distribución para los cultivos en el presente.

El cambio climático genera de acuerdo al uso de diferentes modelos de circulación global una distribución geográfica al futuro, estos se deben promediar en ArcGis para obtener un promedio de distribución geográfica en el futuro, se utilizan en total 20 modelos para obtener el promedio final. De igual forma que con el modelo para la actualidad la zonificación agroecológica para el modelo de distribución geográfica generado para el futuro está caracterizado por aptitud de adaptación de las plantas a las zonas ecológicas.



**Figura 9.** Tendencia de los diferentes escenarios de cambio climático (el A2 es el segundo más pesimista) Fuente: informe IPCC 2007.

Los 20 modelos de circulación global incluyen cada uno las 19 variables de bioclim a futuro que indican cómo será el comportamiento del clima según el periodo de tiempo que se escoge modelar, se realizó un promedio de todos los modelos el cual generó para cada especie un modelo de distribución geográfica, según las variaciones ambientales estimadas, para explicar los resultados se realizó la misma categorización que para los de los del presente, según la aptitud del cultivo a la zona de acuerdo con la climatología.

De acuerdo con Ramírez *et al.* (2012), se estima que en Colombia habrá un incremento promedio de 2,5°C en la temperatura y un 2,5% en la precipitación para los 2050s por efectos del cambio climático. Estos cambios, obligarán a tomar medidas de adaptación en los cultivos para el futuro, ya que estos afectarán el crecimiento de la producción de la biomasa e incidencia de plagas y enfermedades, las cuales hacen que los pequeños productores sean los más vulnerables a esa variabilidad climática.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Ecofisiología de las especies

Para poder realizar la zonificación es necesario conocer la ecofisiología de las especies, y determinar cuáles zonas son las más similares a sus zonas de distribución natural u origen, se realizó una revisión de literatura de distintos autores, para maracuyá se tomaron los parámetros de Serna & Chacón (1985); Chacón (1991); García (2002); Lima & Borges (2004); Martínez *et al.* (2009); Vásquez *et al.* (2009), Miranda & Carranza (2010), para granadilla Rivera *et al.* (2002); García (2008); Miranda (2009); y para gulupa, Angulo (2009); Fischer *et al.* (2009), Jiménez *et al.* (2009); Galindo & Gómez (2010); de acuerdo a los parámetros que sugiere cada autor sobre las condiciones ambientales de cada especie y junto con el criterio de experto se definieron los más idóneos para el establecimiento de cada una de las especies estudiadas, definiendo así la ecofisiología para cada cultivo (Tabla 5).

**Tabla 5.** Rangos óptimos de ecofisiología de los cultivos de maracuyá granadilla y gulupa con base en la literatura.

Variable	Maracuyá	Granadilla	Gulupa
<b>Elevación (m.s.n.m)</b>	200 – 1.000	1.800 – 2.200	1.700 – 2.000
<b>Prof. Efectiva (cm)</b>	> 40	> 50	> 60
<b>Textura</b>	Franco Arenoso	Franca, Franco Arcilloso	Franco Arenoso/Arcilloso
<b>pH</b>	5,5 – 7,0	5,5 – 6,5	6,0 - 7,0
<b>Régimen de Humedad</b>	Údico	Údico	Údico
<b>Temperatura (°C)</b>	24 – 28	16 – 22	15 a 24
<b>Luminosidad</b>	8 a 10	7 – 8	7 a 9
<b>(horas/luz/día)</b>			
<b>Precipitación (mm)</b>	800 – 1.300	1.500 – 2.000	1.800 – 2.300
<b>Humedad Relativa (%)</b>	60 – 70	70 – 80	60 - 70

La granadilla y la gulupa son pasifloras de clima moderado a frío, se dan a una mayor altitud, todo lo contrario del maracuyá que es una especie de clima cálido y se da a menor altitud, es así como el maracuyá en un país como Colombia en donde las zonas de clima cálido tienen un mayor extensión se pueden establecer las plantaciones a nivel industrial, pero por el contrario para granadilla y gulupa estas se dan en zonas de clima frío que aquí en Colombia son en zonas montañosas donde hay menor espacio; las plantaciones son de medianos o pequeños agricultores.

Tal como lo establecieron Martinez *et al.* (2009) se definió que la mejor altitud para el cultivo de granadilla es de 1.800 a 2.200 m.s.n.m., ya que la calidad del cultivo no es la mejor porque a una altitud menor de este rango hay una alta incidencia de plagas y una disminución en el tamaño del fruto y a mayor altitud se presentan enfermedades fungosas foliares (Saldarriaga, 2001).

Para el cultivo de la gulupa se definió una altitud de 1.700 a 2.000 y una temperatura de 15 a 24°C. Sin embargo, Pérez & Melgarejo (2012) en un estudio realizado en Cundinamarca (Granada) obtuvieron buenos resultados en cuanto a la producción de frutos de buena calidad a una altitud de 2.175 m.s.n.m., humedad relativa entre 84 a 94%, temperaturas 13 a 18°C y una alta radiación solar.

En cuanto al suelo, estos cultivos exigen suelos fértiles con pH ácidos a neutros, francos y de régimen Údico, que es común en los suelos de los climas húmedos con lluvias bien distribuidas o suficientes en la época seca para que la cantidad de agua almacenada sea suficiente o exceda la evapotranspiración. La granadilla y la gulupa poseen raíces más profundas por lo que exigen un suelo profundo con mayor contenido de materia orgánica que el maracuyá, el cual posee un sistema de raíces menos profundo, pero de igual forma todas las especies necesitan de un suelo franco para su mejor desarrollo.

De igual forma como la granadilla y la gulupa son de una ecofisiología similar estas dos especies necesitan mayor precipitación (1.500 a 2.000 mm para granadilla y 1800 a 2300 mm para gulupa) que el maracuyá por ser de clima cálido y sólo necesita de 800 a 1300 mm y también una mayor cantidad de luminosidad de 8 a 10 horas al día.

Partiendo de estos resultados a la hora de establecer una plantación se debe tener en cuenta la ecofisiología de la planta para que pueda responder bien, porque aunque el manejo agronómico aporta en gran medida el éxito de un cultivo este también está muy ligado a las condiciones ambientales que exige la planta. La información de la ecofisiología que necesitan estos cultivos es de gran utilidad en la toma de decisiones para el establecimiento de los sistemas de producción en ciertas áreas, ya que se trabaja en conjunto la ecofisiología con el manejo agronómico.

### **3.2. Ajuste del modelo FAO Ecocrop**

El modelo de FAO Ecocrop desarrollado por la FAO, posee una base de datos predeterminados según el conocimiento de expertos de aproximadamente 1.710 cultivos, aunque en ciertos casos existen discrepancias significativas entre el potencial de los nichos previstos y los nichos reales actuales de los cultivos, por lo que puede haber un sesgo en las predicciones. Para el caso de las especies estudiadas se realizó una revisión de los parámetros que por defecto presentaba el modelo Ecocrop y se optó por ajustarlos (Tabla 6), ya que los valores son diferentes a los de la ecofisiología en Colombia tanto por la consulta bibliográfica como por el criterio de experto. Es así que con la ecofisiología que se definió, se realizó una reparametrización para desarrollar el modelo No.2 con el fin de que el resultado sea más aproximado a la realidad.

**Tabla 6.** Parámetros de ecofisiología ajustados para Ecocrop para los cultivos.

<b>Parámetros</b>	<b>Maracuyá</b>	<b>Granadilla</b>	<b>Gulupa</b>
<b>GMin</b> (crecimiento mínimo en días)	180	120	120
<b>GMax</b> (crecimiento máximo en días)	240	365	210
<b>GUsed</b> (crecimiento usado en días)	210	180	180
<b>KTmp</b> (temperatura de muerte de la planta °C)	10	0	3
<b>Tmin</b> (temperatura mínima de la planta °C)	19	8,3	10
<b>TOPmn</b> (temperatura mínima optima de la planta °C)	24	16	12
<b>TOPmx</b> (temperatura máxima optima de la planta °C)	28	22	22
<b>Tmax</b> (temperatura máxima de la planta °C)	35	25,8	24
<b>Rmin</b> (precipitación mínima en mm)	500	1.011	1..500
<b>ROPmn</b> (precipitación mínima óptima en mm)	800	1.500	1800
<b>ROPmx</b> (precipitación máxima óptima en mm)	1.300	2.000	2.300
<b>Rmax</b> (precipitación máxima en mm)	2.000	2.663	2.600

### **3.3. Órdenes de suelos obtenidos en los cultivos**

Aunque en la colecta no se realizó un estudio de suelos de los cultivos caracterizados, mediante el mapa de suelos de Colombia a nivel de orden del IGAC se obtuvieron los órdenes en los cuales se encontraban asentados estos cultivos (Tabla 7). La revisión bibliográfica de la ecofisiología determina las características que debe tener un suelo para el establecimiento de un cultivo exitoso, se puede establecer un cultivo en suelos que cumplan con algunas de esas características, el manejo agronómico incide mucho en el éxito del cultivo, la correcta fertilización, drenaje, etc.

**Tabla 7.** Información de los órdenes de suelos en los que están establecidos los cultivos actuales.

ORDEN DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
<b>INCEPTISOLES</b>	Poseen mal drenaje, pH y fertilidad variables, dependientes de la zona: alta en zonas aluviales y baja en sedimentos antiguos y lavados sobre los cuales evolucionan el suelo, materia orgánica variable, buena respuesta a NPK, algunos requieren encalado Principales suelos para cultivos agrícolas en el mundo. Muy productivos y valiosos si son manejados adecuadamente, Uso todos los cultivos, limitante es el clima.
<b>ENTISOLES</b>	Son pobres en materia orgánica, y en general responden a abonos nitrogenados, mal drenados. Los Entisoles se han desarrollado en distintos regímenes de humedad, temperatura, vegetación, materiales parentales y edad, Los únicos rasgos comunes a todos los suelos de este orden son la ausencia virtual de horizontes y su naturaleza mineral.
<b>MOLISOLES</b>	Suelos minerales con horizonte superficial grueso y oscuro relativamente alto en materia orgánica y con abundancia de bases en todo el perfil. En general presentan condiciones propicias de fertilidad tanto actual como potencial, tendencia a la neutralidad y comparativamente con otros suelos del país, contenidos relativamente altos de P asimilable y presencia variable de carbonatos y sales, principalmente en función de la ppt efectiva, la duración de la estación seca y la macro y microtopografía. Otras propiedades que caracterizan a los Molisoles son: la estructura granular o migajosa moderada y fuerte que facilita el movimiento del agua y aire; la dominancia del catión calcio en el complejo de intercambio catiónico, que favorece la fluctuación de los coloides; la dominancia de arcillas, moderada a alta capacidad de intercambio y la elevada saturación con bases.
<b>VERTISOLES</b>	Bajos contenidos de M,O,, infiltración desuniforme. Las condiciones de humedad es extremadamente crítico en vertisoles ya que este es gobernado por las propiedades físicas y su comportamiento, debido al contenido de arcillas exhiben características de alta retención de humedad. La estructura y porosidad son componentes críticos en los vertisoles. Suelos con buena fertilidad química, <b>CIC</b> alta <b>Saturación de bases</b> alta lo que hace que tenga condiciones de fertilidad adecuadas excepto el N asociado a bajos niveles de materia orgánica. Las prácticas de manejo deben estar encaminadas al manejo eficiente del agua en combinación con la conservación y mejoramiento del nivel de fertilidad: Practicas de drenaje, preparación adecuada de tierras, aplicación de riego, incrementar la infiltración, reducir erosión potencial en pendientes > 5%, uso optimo del agua, fertilización a base de Nitrógeno, adición de materiales orgánicos compostados (cachaza, gallinaza, residuos orgánicos) para mejorar agregación la aireación.
<b>ALFISOLES</b>	Amplia relación Ca + Mg/K origina desbalance de los nutrientes y el poco aprovechamiento del potasio, bajos contenidos y fijación de fósforo y carbón orgánico, altas concentraciones de Sodio y Calcio, alta susceptibilidad a la erosión, agrietamientos cuando el suelo está seco, baja capacidad de aireación, baja Profundidad Efectiva, <b>moderadamente</b> drenados, fertilidad media – alta (variable, generalmente moderada), acidez ausente o no muy pronunciada en la mayoría de los casos, alta capacidad de retención de humedad, buena estabilidad estructural, tipos de cultivos bajo Inundación son favorables en estos suelos (arroz), cultivos con raíces pivotantes, presentan dificultad en el crecimiento y desarrollo, por tanto se debe romper la capa de arcilla del suelo. Fertilización fosfórica lo más cercana a la raíz y de solubilidad ácida para que sea rápidamente disponible por la planta. En suelos con cantidades altas de Sodio y Calcio, aplicar enmiendas, realizar riegos por inundación y tener un óptimo sistema de drenaje para el lavado de sales.

**Fuente:** Malagón *et al.* (1995).



A modo de información general el orden de suelos da una pista de los suelos en los cuales se encuentran estos cultivos, pero cabe resaltar que las características de los suelos a nivel de orden son muy generales por lo que lo más recomendable es que cada productor realice un estudio de suelos de los predios en los cuales desea establecer los cultivos.

### **3.4. Correlaciones**

Mediante las correlaciones entre la calidad del fruto versus los bioclimas demás de temperaturas y precipitaciones mensuales (Tabla 8) se observó que los cultivos presentan una interacción de genotipo por ambiente, donde los efectos ambientales influyen en la genética de las especies y ocasionando el desarrollo adaptaciones para las condiciones a la que están expuestos.

**Tabla 8.** Temperaturas y precipitaciones mensuales empleadas en las correlaciones.

<b>Código</b>	<b>Variable climática</b>
Tmin1	Temperatura mínima enero
Tmin2	Temperatura mínima febrero
Tmin3	Temperatura mínima marzo
Tmin4	Temperatura mínima abril
Tmin5	Temperatura mínima mayo
Tmin6	Temperatura mínima junio
Tmin7	Temperatura mínima julio
Tmin8	Temperatura mínima agosto
Tmin9	Temperatura mínima septiembre
Tmin10	Temperatura mínima octubre
Tmin11	Temperatura mínima noviembre
Tmin12	Temperatura mínima diciembre
Tmax1	Temperatura máxima enero
Tmax2	Temperatura máxima febrero
Tmax3	Temperatura máxima marzo
Tmax4	Temperatura máxima abril
Tmax5	Temperatura máxima mayo
Tmax6	Temperatura máxima junio
Tmax7	Temperatura máxima julio
Tmax8	Temperatura máxima agosto
Tmax9	Temperatura máxima septiembre
Tmax10	Temperatura máxima octubre
Tmax11	Temperatura máxima noviembre
Tmaz12	Temperatura máxima diciembre
Prec1	Precipitación enero
Prec2	Precipitación febrero
Prec3	Precipitación marzo
Prec4	Precipitación abril
Prec5	Precipitación mayo
Prec6	Precipitación junio
Prec7	Precipitación julio

Prec8	Precipitación agosto
Prec9	Precipitación septiembre
Prec10	Precipitación octubre
Prec11	Precipitación noviembre
Prec12	Precipitación diciembre

### 3.4.1. Correlaciones maracuyá

En el maracuyá sólo el diámetro y longitud del fruto (forma del fruto) por las siguientes variables climáticas: temperatura mínimas 1 a 12, la máximas 9 a 11 y los bioclimas 1, 6, 8, 10, 11, dando como resultado a una mayor temperatura, un mayor tamaño del fruto (Tabla 9), en general es la especie que menos susceptible, por lo que su capacidad de adaptación a otros ambientes es más amplia, gracias a su plasticidad genética.

**Tabla 9.** Variables climáticas que afectan el diámetro y longitud del fruto de maracuyá.

Variables climáticas	DFR/LFR
tmin1	0,53
tmin2	0,54
tmin3	0,53
tmin4	0,52
tmin5	0,50
tmin6	0,53
tmin7	0,51
tmin8	0,51
tmin9	0,51
tmax9	0,51
tmin10	0,52
tmax10	0,50
tmin11	0,53
tmax11	0,50
tmin12	0,54
bio1	0,51
bio6	0,52
bio8	0,52
bio10	0,50
bio11	0,52

### 3.4.2. Correlaciones granadilla

Para granadilla la longitud del fruto se ve afectada sólo por las temperaturas máximas de la 6 a la 9, la temperatura mínima mensual 12 y por los bioclimas 1, 5, 8, 9, 10 y 11, es decir que todas estas harán que el fruto tenga una longitud menor; además las variables que afectan el porcentaje de sólidos disueltos totales (SST) en la fruta son la precipitación 1 y 12 indicando a que a mayores precipitaciones los SST serán menores (Tabla 10); es así, como la buena calidad del sabor de la granadilla se verá afectado negativamente a mayor rango de precipitaciones.

**Tabla 10.** Variables climáticas que afectan la longitud y los sólidos solubles del fruto de granadilla.

Variable	LFR (mm)	SST
prec1	-0,16	-0,50
prec12	-0,21	-0,50
tmax6	-0,52	-0,14
tmax7	-0,52	-0,18
tmax8	-0,53	-0,18
tmax9	-0,52	-0,13
tmax12	-0,50	-0,07
tmin12	-0,50	-0,07
bio1	-0,51	-0,05
bio5	-0,51	-0,08
bio8	-0,50	0,01
bio9	-0,51	-0,09
bio10	-0,50	0,00
bio11	-0,51	-0,06

### 3.4.3. Correlaciones gulupa

En la gulupa las correlaciones son en su mayoría negativas, menos en el número de semilla por fruto que se beneficia cuando las precipitaciones 1, 2 y el bioclima 3, 14 y 17 son mayores, pero en general es un fruta que ve afectada negativamente más variables de la calidad del fruto por las variables climáticas, en la Tabla 11 se aprecian los parámetros de calidad y las variables que los afectan de una forma más detallada.

**Tabla 11.** Parámetro de calidad de fruto de la gulupa y variables climáticas que afectan el fruto de la gulupa.

Variables climáticas	PFR (g)	PPMS (g)	PCAS (g)	SST	PSEM (X)	No. semillas x fruto	%Pulpa	Cont. jugo
tmax1	-0,30	-0,55	-0,25	-0,56	-0,25	-0,19	-0,29	-0,54
prec1	-0,15	0,06	-0,40	0,18	0,46	0,59	0,23	0,02
tmax2	-0,32	-0,56	-0,26	-0,57	-0,26	-0,19	-0,28	-0,56
prec2	-0,07	0,08	-0,30	0,17	0,37	0,54	0,15	0,05
tmax3	-0,26	-0,51	-0,21	-0,55	-0,25	-0,23	-0,30	-0,51
prec6	0,33	-0,63	-0,15	-0,54	-0,62	-0,26	-0,34	-0,58
prec7	-0,41	-0,66	-0,27	-0,70	-0,60	-0,25	-0,26	-0,61
prec8	-0,37	-0,58	-0,19	-0,69	-0,61	-0,33	-0,24	-0,54
tmax11	-0,30	-0,54	-0,26	-0,54	-0,24	-0,16	-0,29	-0,54
tmax12	-0,31	-0,53	-0,29	-0,53	-0,20	-0,12	-0,26	-0,53
bio2	-0,58	-0,72	-0,31	-0,71	-0,47	-0,36	-0,16	-0,70
bio3	-0,14	0,20	-0,38	0,35	0,59	0,72	0,42	0,14
bio4	-0,18	-0,42	0,13	-0,55	-0,59	-0,65	-0,26	-0,37
bio5	-0,29	-0,54	-0,25	-0,55	-0,23	-0,18	-0,28	-0,53
bio6	-0,13	-0,21	-0,29	-0,17	0,15	0,21	-0,10	-0,24
bio7	-0,30	-0,58	0,00	-0,66	-0,63	-0,63	-0,32	-0,53
bio14	-0,29	0,00	-0,55	0,12	0,48	0,70	0,33	-0,05
bio15	0,27	-0,15	0,59	0,23	-0,73	-0,78	-0,54	-0,08
bio16	-0,17	-0,41	-0,06	-0,38	-0,45	-0,18	-0,31	-0,37
bio17	-0,23	0,01	-0,47	0,11	0,42	0,63	0,27	-0,03
bio19	-0,25	-0,50	-0,10	-0,38	-0,48	-0,14	-0,31	-0,46

De acuerdo con los resultados que se observaron la gulupa es una fruta que debe establecerse en una zona donde la climatología sea lo más posible similar a sus necesidades ecofisiológicas, de lo contrario la calidad del fruto no será muy buena, porque es el cultivo que más ve afectado la calidad de su fruto por las variaciones climáticas.

Finalmente se puede afirmar que como estos cultivos tienen susceptibilidad a ser afectados ya sea de forma positiva o negativa por las variables ambientales han evolucionado desde su origen hasta el momento en el que están siendo sometidas a la domesticación, que es lo mismo que adaptarse por la interacción del genotipo por el ambiente; es decir, que desarrollan un comportamiento relativo diferencial el cual que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes medios cambiantes, lo que ocasiona que los fenómenos hereditarios muy posiblemente cambian si el ambiente cambia de forma que se adaptan a esas nuevas condiciones (Márquez, 1976).

### 3.5. Análisis de componentes principales

#### 3.5.1 Análisis de Componentes Principales en maracuyá

El análisis de componente principales identificó cuatro factores que explican el 94% de la varianza total, los dos componentes escogidos representan el 78% de la variabilidad de los datos, por lo tanto se puede deducir que estos expresan gran parte de la variabilidad dando así una mejor modelación, ya que la gran mayoría de los bioclimas tienen valores mayores a 0,6 (Tabla 12).

**Tabla 12.** Análisis de componentes principales y valores propios y varianza explicada por el ACP de maracuyá.

Variable	Componentes			
	1	2	3	4
<b>Bio1</b>	<b>0,984273</b>	0,050691	0,010239	0,157660
Bio2	0,010239	0,157660	<b>-0,947834</b>	-0,155137
Bio3	-0,532497	-0,252930	0,027794	<b>-0,706252</b>
Bio4	0,284412	0,324202	-0,033287	<b>0,761355</b>
<b>Bio5</b>	<b>0,923579</b>	0,055185	-0,277529	0,242809
<b>Bio6</b>	<b>0,940708</b>	0,099928	0,265479	0,139905
Bio7	0,095926	-0,068769	<b>-0,962916</b>	0,208247
<b>Bio8</b>	<b>0,985788</b>	0,031764	0,026466	0,101900
<b>Bio9</b>	<b>0,970492</b>	0,077080	-0,013841	0,200869
<b>Bio10</b>	<b>0,968763</b>	0,076000	0,013605	0,216256
<b>Bio11</b>	<b>0,992615</b>	0,027429	0,013543	0,109468
<b>Bio12</b>	0,064929	<b>0,971346</b>	0,088856	0,138464
<b>Bio13</b>	0,243011	<b>0,930261</b>	0,086471	0,179213
Bio14	-0,549071	0,574473	0,027847	-0,487090
<b>Bio15</b>	<b>0,784062</b>	0,038850	0,078297	0,464656
<b>Bio16</b>	0,226277	<b>0,918435</b>	0,103020	0,242240
<b>Bio17</b>	-0,481957	<b>0,707985</b>	0,034880	-0,374515
<b>Bio18</b>	-0,158452	<b>0,703448</b>	0,267861	-0,449700
<b>Bio19</b>	0,150999	<b>0,876654</b>	-0,036965	0,253535
<b>Valor propio (Eigenvalue)</b>	9,153779	5,607877	2,190023	1,065718
<b>Varianza total (%)</b>	48,17778	29,51514	11,52643	5,60904
<b>Varianza total acumulada (%)</b>	48,17778	77,69292	89,21936	94,82840

### **3.5.2. Análisis de Componentes Principales en granadilla**

Para la granadilla el análisis de componentes principales identificó cinco factores los cuales explican el 95% de la varianza total, los dos componentes seleccionados explican el 69% de la variabilidad de los datos, y aunque es un poco menor que el maracuyá tiene un buen porcentaje de explicación de esta variabilidad pero la modelación no será tan exacta, tal vez porque esta especie no sólo depende de su climatología sino que es muy sensible al manejo agronómico, suelos, etc. (Tabla 13).

**Tabla 13.** Análisis de componentes principales y autovalores y varianza explicada por el ACP de granadilla.

Variable	Componentes				
	1	2	3	4	5
<b>Bio1</b>	<b>0,992937</b>	0,090607	-0,004499	0,071522	-0,008570
Bio2	0,167774	-0,005790	0,167561	<b>0,963630</b>	-0,010339
Bio3	0,089220	0,138809	<b>0,883119</b>	-0,141740	0,265936
Bio3	0,089220	0,138809	<b>0,883119</b>	-0,141740	0,265936
<b>Bio5</b>	<b>0,937234</b>	0,080008	-0,073784	0,321910	-0,063925
<b>Bio6</b>	<b>0,968734</b>	0,124770	0,076899	-0,191502	0,017923
Bio7	0,093328	-0,065016	-0,273041	<b>0,941446</b>	-0,152076
<b>Bio8</b>	<b>0,990941</b>	0,005309	0,008407	0,039488	0,014315
<b>Bio9</b>	<b>0,985113</b>	0,132744	0,004735	0,083074	-0,006062
<b>Bio10</b>	<b>0,991027</b>	0,068017	-0,079709	0,070494	-0,025569
<b>Bio11</b>	<b>0,989703</b>	0,078526	0,054847	0,079127	0,001330
<b>Bio12</b>	0,072658	<b>0,915526</b>	0,042936	-0,070226	0,364190
<b>Bio13</b>	0,146022	<b>0,977968</b>	0,001567	-0,016754	0,027898
Bio14	0,027101	0,606261	0,211585	-0,067085	<b>0,737997</b>
Bio15	0,086826	-0,071414	-0,319955	0,040328	<b>-0,913787</b>
<b>Bio16</b>	0,067046	<b>0,979410</b>	-0,031102	0,053725	0,106350
Bio17	0,019589	0,675166	0,180615	-0,124882	0,682256
Bio18	0,018690	0,615298	-0,007613	-0,152904	0,501374
<b>Bio19</b>	0,172560	<b>0,930850</b>	0,075527	0,041669	-0,035284
<b>Valor propio (Eigenvalue)</b>	7,444344	5,666920	2,308086	1,770323	0,905790
<b>Varianza total (%)</b>	39,18076	29,82589	12,14782	9,31749	4,76731
<b>Varianza total acumulada (%)</b>	39,18076	69,00665	81,15447	90,47196	95,23928

### 3.5.3. Análisis de Componentes Principales en gulupa

Para la gulupa el análisis de componentes principales identificó cuatro factores los cuales explican el 96% de la varianza total de los datos, los dos componentes seleccionados explican el 76% de la variabilidad, deduciendo que esta especie sí depende más del clima para la calidad del fruto, por lo tanto se ve muy influenciada por el ambiente donde se piense establecer el cultivo (Tabla 14).

**Tabla 14.** Análisis de componentes principales para y autovalores y varianza explicada por el ACP de gulupa.

Variable	Componentes			
	1	2	3	4
<b>Bio01</b>	<b>0,971352</b>	0,230141	-0,037851	0,034865
Bio02	0,004487	0,110640	<b>0,961071</b>	0,123238
Bio03	0,075810	0,470648	-0,224854	<b>0,808400</b>
Bio04	-0,090102	-0,097588	0,477749	-0,758250
<b>Bio05</b>	<b>0,940390</b>	0,173673	0,275041	-0,082994
<b>Bio06</b>	<b>0,927464</b>	0,252207	-0,241705	0,108774
Bio07	-0,047961	-0,156089	<b>0,919283</b>	-0,342602
<b>Bio08</b>	<b>0,974913</b>	0,159478	-0,038581	0,094190
<b>Bio09</b>	<b>0,966401</b>	0,243079	0,026034	0,020340
<b>Bio10</b>	<b>0,977237</b>	0,199518	-0,013576	-0,053761
<b>Bio11</b>	<b>0,962185</b>	0,221416	-0,095758	0,107855
<b>Bio12</b>	0,238968	<b>0,913294</b>	0,002200	0,301288
<b>Bio13</b>	0,298719	<b>0,940438</b>	-0,088007	0,032603
<b>Bio14</b>	0,126293	<b>0,700911</b>	0,037006	0,661795
Bio15	0,119765	-0,127148	-0,144178	<b>-0,933507</b>
<b>Bio16</b>	0,277013	<b>0,946020</b>	0,007894	0,097657
<b>Bio17</b>	0,165662	<b>0,749416</b>	0,036492	0,617706
<b>Bio18</b>	0,228511	<b>0,784399</b>	-0,206115	0,416186
<b>Bio19</b>	0,269346	<b>0,916215</b>	0,099318	0,064094
Valor propio (Eigenvalue)	9,931185	4,509979	2,388538	1,422933
Varianza total (%)	52,26939	23,73673	12,57125	7,48912
VaVarianza total acumulada (%)	52,26939	76,00613	88,57738	96,06650

### **3.6. Variables de bioclim escogidas para la modelación**

Los análisis de componentes principales determinaron las variables de bioclim que más explican la variabilidad de los datos, por esta razón se seleccionaron algunas variables (Tabla 15), con estos se realizaron algunos modelos para determinar que tanto afectan la distribución de las zonas agroecológicas.

**Tabla 15.** Bioclimas escogidos según influencia en la calidad del fruto.

<b>Variable</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Maracuyá</b>	<b>Granadilla</b>	<b>Gulupa</b>
<b>Bio1</b>	Temperatura promedio anual	X	X	X
<b>Bio2</b>	Oscilación diurna de la temperatura			
<b>Bio3</b>	Isotermalidad			
<b>Bio4</b>	Estacionalidad de la temperatura			
<b>Bio5</b>	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido	X	X	X
<b>Bio6</b>	Temperatura mínima promedio del periodo más frío	X	X	X
<b>Bio7</b>	Oscilación anual de la temperatura			
<b>Bio8</b>	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso	X	X	X
<b>Bio9</b>	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco	X	X	X
<b>Bio10</b>	Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido	X	X	X
<b>Bio11</b>	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío	X	X	X
<b>Bio12</b>	Precipitación anual	X	X	X
<b>Bio13</b>	Precipitación del periodo más lluvioso	X	X	X
<b>Bio14</b>	Precipitación del periodo más seco			X
<b>Bio15</b>	Estacionalidad de la precipitación			
<b>Bio16</b>	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso	X	X	X
<b>Bio17</b>	Precipitación del cuatrimestre más seco	X	X	X
<b>Bio18</b>	Precipitación del cuatrimestre más cálido			X
<b>Bio19</b>	Precipitación del cuatrimestre más frío	X	X	X

### **3.7. Modelos de zonificación**

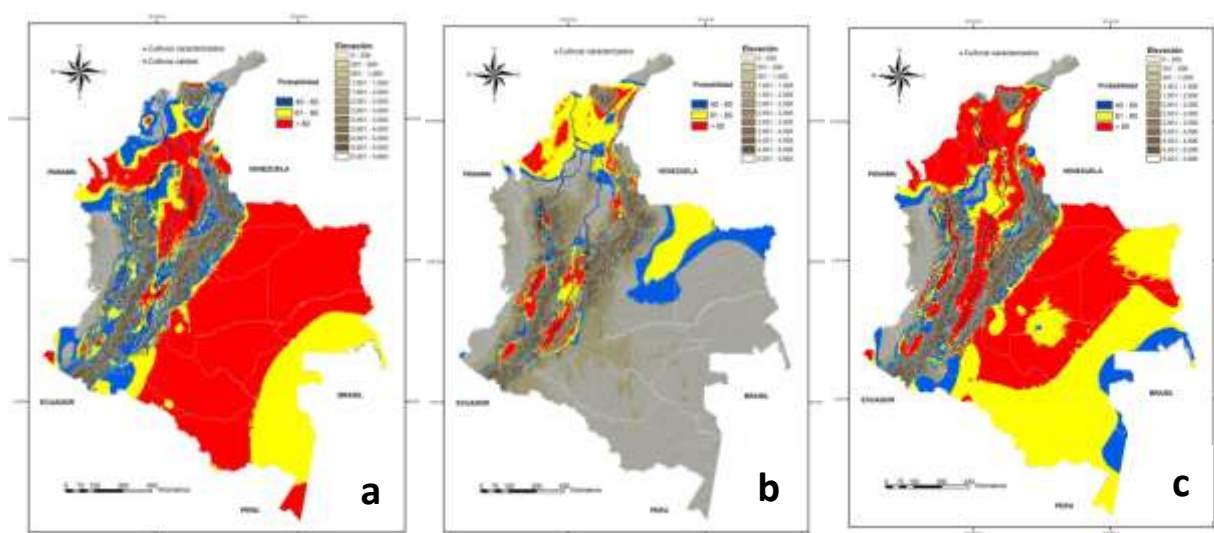
En total se realizaron 10 modelos por especie (Tabla 16) para un total de 30 modelos, éstos diferenciados por inclusión o exclusión de ciertas variables como los bioclimas. Se modela con la totalidad de cultivos caracterizados y también con los seleccionados en la colecta como de calidad, con estos datos se define qué áreas son más aptas para el desarrollo de los sistemas de producción de granadilla y gulupa, en la actualidad y con base en los cuales se proyectarán el cambio climático para el 2050s.



**Tabla 16.** Modelos realizados para los tres cultivos.

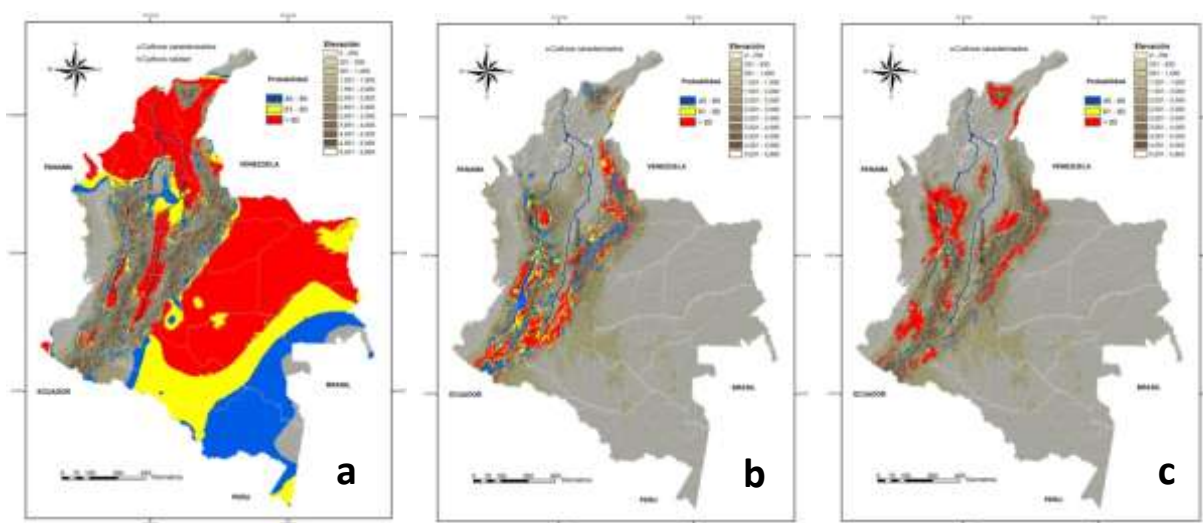
No	Modelos	Software
1	Todos los cultivos caracterizados y todas la variables de bioclim FAO - EcoCrop	DIVA-GIS
2	Todos los cultivos caracterizados y todas la variables de bioclim (FAO – EcoCrop ajustado con ecofisiología)	DIVA-GIS
3	Todos los cultivos caracterizados y todas la variables de bioclim	DIVA-GIS
4	Todos los cultivos caracterizados y las variables de bioclim escogidas	DIVA-GIS
5	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y todas la variables de bioclim	DIVA-GIS
6	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y las variables de bioclim escogidas	DIVA-GIS
7	Todos los cultivos caracterizados y todas la variables de bioclim	Maxent
8	Todos los cultivos caracterizados y las variables de bioclim escogidas	Maxent
9	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y todas la variables de bioclim	Maxent
10	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y las variables de bioclim escogidas	Maxent

Para cada especie se desarrollaron los modelos de distribución geográfica según los patrones ambientales arrojados por la base de datos climáticos, la zonificación se realizó con una categorización según la aptitud de los cultivos a las diferentes zonas ecológicas. Luego de obtener los modelos se realizó una depuración para los diferentes modelos de las áreas protegidas en ArcGis, esto se realizó con utilizando una máscara del mapa de los parques nacionales de Colombia, por lo que todos los modelos presentan áreas óptimas para los cultivos pero estas no se cruzan con ninguna de las categorías de áreas protegidas de país (parques nacionales, resguardos indígenas, etc.).

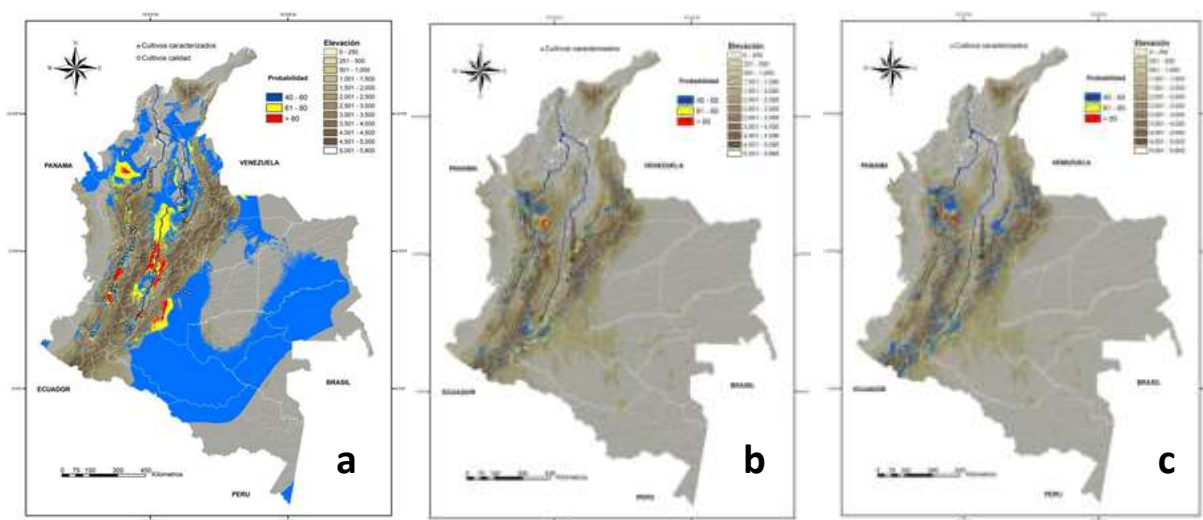


**Figura 10.** Mapas del modelo No.1, Todos los cultivos caracterizados y todas las variables de bioclim FAO – EcoCrop. **a.** maracuyá, **b.** granadilla y **c.** gulupa.

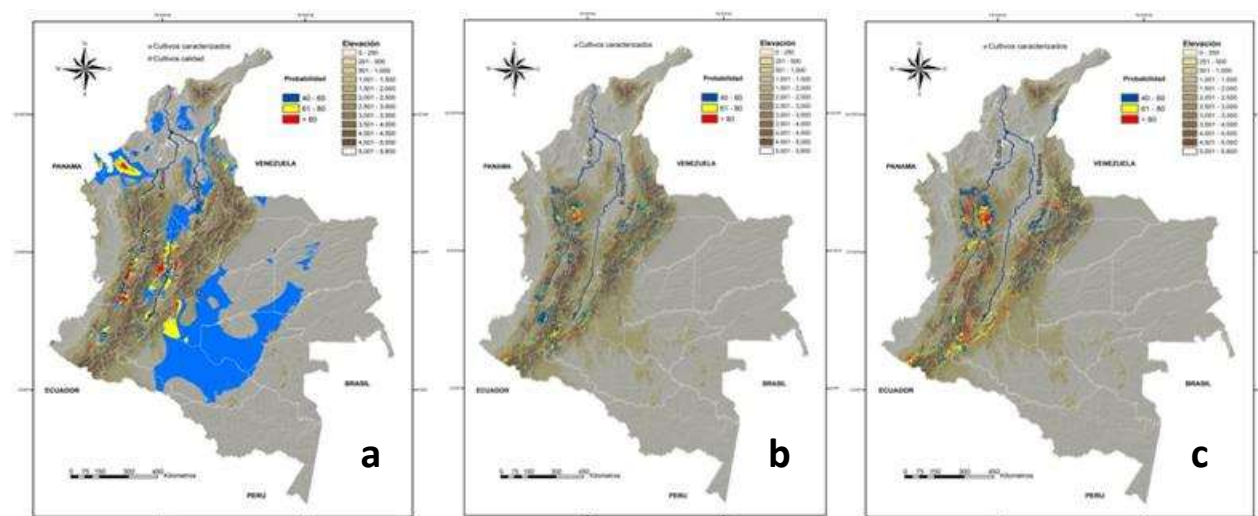
**Capítulo II.** Definición de zonas agroecológicas óptimas para los sistemas de producción del maracuyá, la granadilla y la gulupa en Colombia



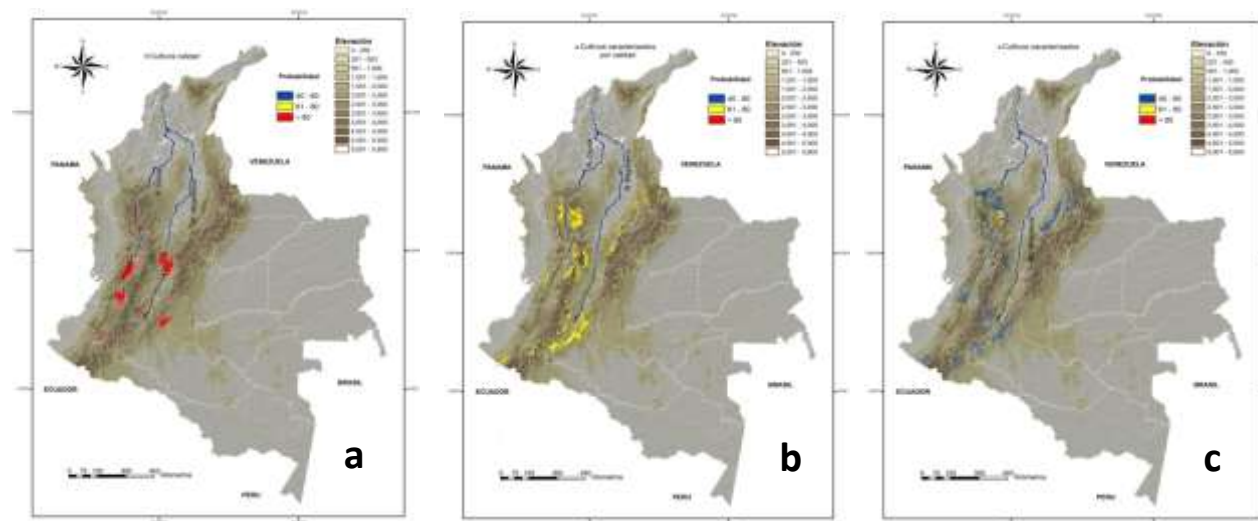
**Figura 11.** Mapas modelo No, 2 Todos los cultivos caracterizados y todas las variables de bioclim (FAO – EcoCrop ajustado). **a.** maracuyá, **b.** granadilla y **c.** gulupa.



**Figura 12.** Mapas modelo No, 3, Todos los cultivos caracterizados y todas las variables de bioclim con DIVA-GIS. **a.** maracuyá, **b.** granadilla y **c.** gulupa.

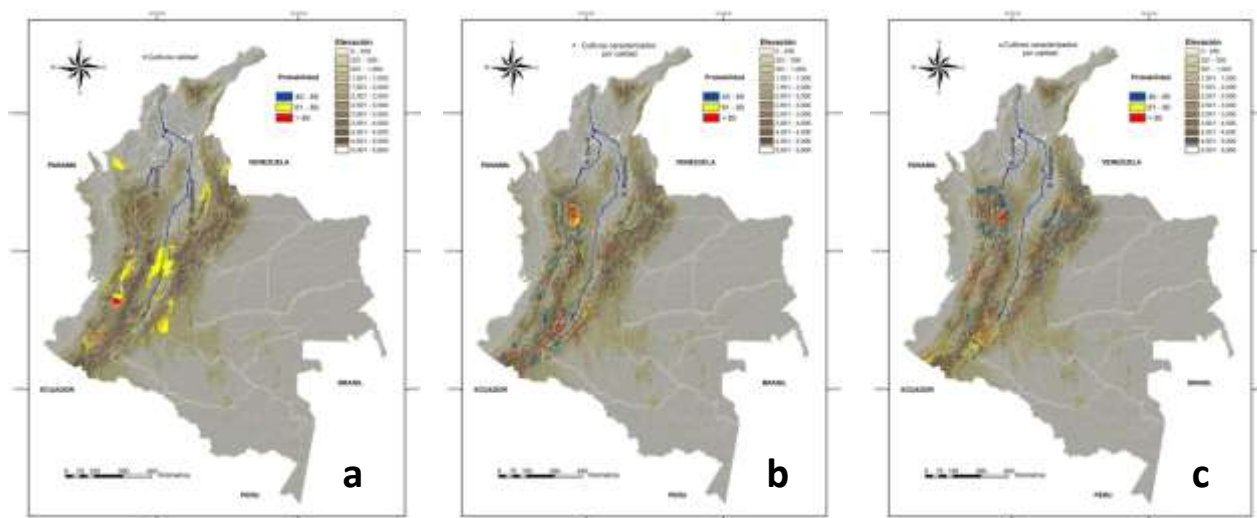


**Figura 13.** Mapas modelo No. 4. Todos los cultivos caracterizados y las variables de bioclim escogidas con DIVA-GIS. **a.** maracujá, **b.** granadilla y **c.** gulupa.

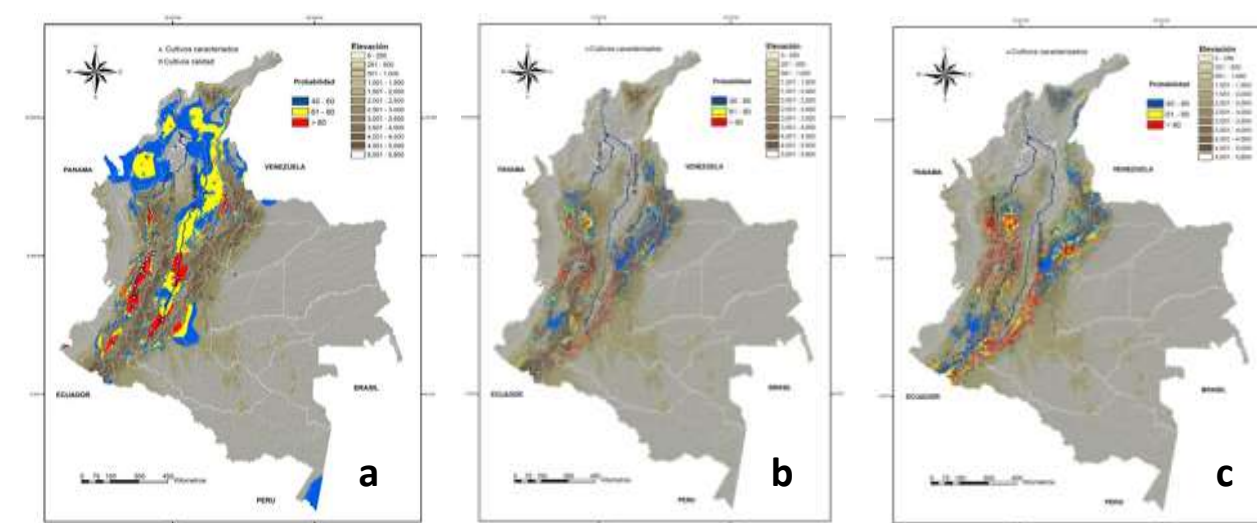


**Figura 14.** Modelo No. 5. Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y todas las variables de bioclim con DIVA-GIS. **a.** maracujá, **b.** granadilla y **c.** gulupa.

**Capítulo II.** Definición de zonas agroecológicas óptimas para los sistemas de producción del maracuyá, la granadilla y la gulupa en Colombia



**Figura 15.** Mapas modelo No. 6. Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y las variables de bioclim escogidas con DIVA-GIS. **a.** maracuyá, **b.** granadilla y **c.** gulupa.

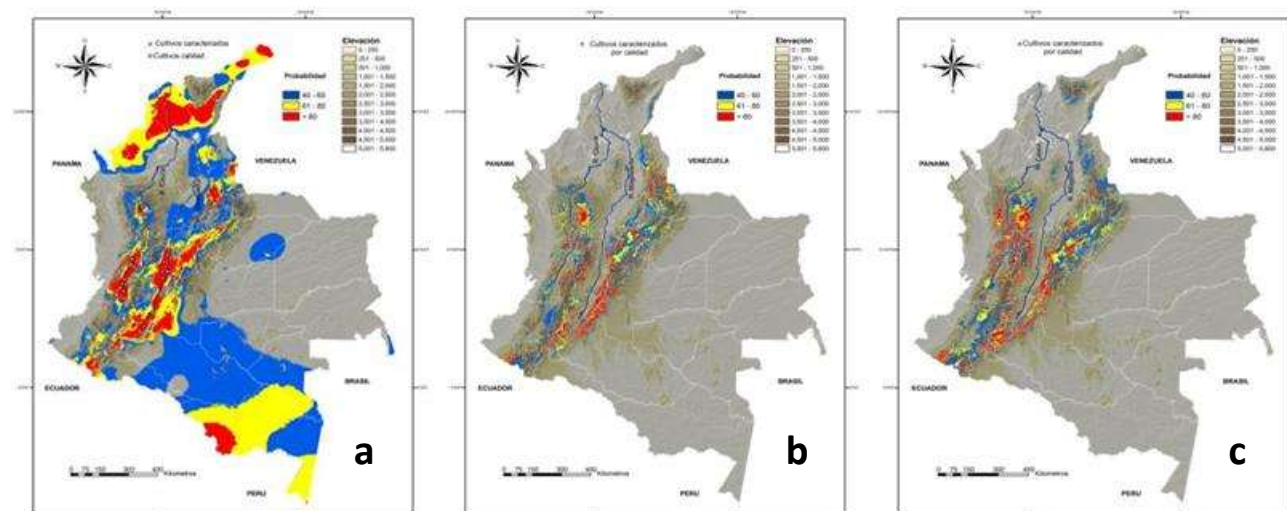


**Figura 16.** Mapas modelo No.7. Todos los cultivos caracterizados y todas las variables de bioclim con MAXENT. **a.** maracuyá, **b.** granadilla y **c.** gulupa.



100

## Capítulo II. Definición de zonas agroecológicas óptimas para los sistemas de producción del maracuyá, la granadilla y la gulupa en Colombia



**Figura 19.** Mapas modelo No. 10. Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y las variables de bioclim escogidas con MAXENT. **a.** maracuyá, **b.** granadilla y **c.** gulupa.

Las condiciones climatológicas de dichas zonas son de suma importancia ya que es así como se puede orientar un productor analizando las condiciones de las áreas más aptas, según el modelo que se seleccione las características promedio de esta serán de gran utilidad para tomar como ejemplo de las condiciones ambientales de las zonas que mejores producciones darán al agricultor.

### 3.8. Selección del mejor modelo

#### 3.8.1. Validación de los modelos a utilizar

La validación de los modelos para cada una de los cultivos permitió identificar que tan acertados son los modelos, en la Tabla 17 se aprecian los resultados de los puntos del 70% de evaluación que coincidieron con la distribución modelada por el 30% de los puntos seleccionados para modelar.

**Tabla 17.** Resultados de la validación de los modelos Bioclim y Maxent.

Cultivo	Total de puntos	Puntos con que se modeló (30%)	Puntos para validar (70%)	Puntos en la distribución		Puntos por fuera de la distribución	
				Bioclim	Maxent	Bioclim	Maxent
Maracuyá	77	22	55	36	50	41	27
Granadilla	47	14	33	22	33	11	12
Gulupa	23	5	18	4	18	1	0

De acuerdo con los resultados obtenidos con la validación se puede apreciar que el modelo de Maxent deja menos cantidad de puntos con los que se valida por fuera del área modelada con

el 30% de los puntos, esto quiere decir que Maxent por ser un modelo que toma más en cuenta el nicho de cada especie modela mejor las zonas para estos cultivos, pero por el contrario Bioclim restringe más la modelación, esto se debe a la poca cantidad de información con que se modeló.

### 3.8.2. Selección por parámetro ROC y criterio de experto

Con el fin de disminuir el error en la selección de los modelos además de la validación se realizó la evaluación mediante el parámetro ROC y también por el criterio de experto (con ayuda de Google Earth) por si estos dos métodos anteriores puedan omitir ciertas situaciones que no se ajusten a la realidad, a la hora de elegir las mejores zonas y que puedan no cumplir con factores de importancia socioeconómica tales como vías de acceso, tradición del cultivo, comercialización, etc., en las tablas 18 y 19 se presentan las calificaciones arrojadas para cada modelo según las dos metodologías para los tres cultivos.

Por el método de criterio de experto la calificación va desde 1 a 9 donde 1 a 3 es el menos acertado, de 4 a 6 es medianamente bueno y de 7 a 9 es el mejor modelo, según este método el mejor modelo es el número 8 en todos los tres cultivos, ya que su zonificación arrojó áreas donde si hay tradición del cultivo, fácil acceso, y condiciones ecológicas que con los recorridos en campo se apreció que sí son aptas para el desarrollo de los cultivos.

**Tabla 18.** Calificaciones mediante el método de criterio de experto para cada modelo.

No	Modelos	Maracuyá	Granadilla	Gulupa
1	Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima FAO - EcoCrop	1	1	1
2	Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima (FAO – EcoCrop ajustado con ecofisiología)	1	2	2
3	Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima	2	3	3
4	Todos los cultivos caracterizados y el bioclima escogido	3	5	5
5	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y todo el bioclima	3	4	3
6	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y el bioclima escogido	4	6	4
7	Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima	8	7	6
8	Todos los cultivos caracterizados y el bioclima escogido	9	9	9
9	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y todo el bioclima	3	7	7
10	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y el bioclima escogido	2	8	7

La selección del modelo se complementó con el método del parámetro ROC, metodología que califica de 0 a 1 donde los valores más cercanos a 1 son los mejores modelos, los valores de área bajo la curva para el modelo 8 de todos los cultivos fueron los más cercanos a 1, coincidiendo con el criterio de experto que estos son los modelos que mejor predijeron la distribución para la zonificación de los cultivos.

**Tabla 19.** Valores arrojados por la evaluación con el método del parámetro ROC para cada modelo

No	Modelos	Maracuyá	Granadilla	Gulupa
1	Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima FAO - EcoCrop	0,723	0,640	0,767
2	Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima (FAO – EcoCrop ajustado con ecofisiología)	0,733	0,670	0,799
3	Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima	0,683	0,660	0,715
4	Todos los cultivos caracterizados y el bioclima escogido	0,714	0,620	0,799
5	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y todo el bioclima	0,600	0,488	0,726
6	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y el bioclima escogido	0,744	0,460	0,625
7	Todos los cultivos caracterizados y todo el bioclima	0,650	0,650	0,481
8	Todos los cultivos caracterizados y el bioclima escogido	<b>0,815</b>	<b>0,710</b>	<b>0,979</b>
9	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y todo el bioclima	0,822	0,500	0,613
10	Todos los cultivos caracterizados (por calidad) y el bioclima escogido	0,737	0,480	0,846

Con estos resultados se puede inferir que el método de seleccionar los modelos por medio de la evaluación del ajuste del modelo con el área bajo la curva es bastante acertado y que se ajusta a la realidad.

### 3.8.3. Características modelo 8 escogido para los tres cultivos

En la Tabla 20 se aprecian las características del modelo 8 para cada cultivo y cada zona de aptitud, generalmente la probabilidad de mayor éxito es la que presenta menor área en comparación con las otras probabilidades, es así como se puede concluir que las áreas para establecer cultivos con alta calidad son más reducidas por lo que el resto de áreas con menor aptitud se deben complementar con un buen manejo agronómico para lograr los resultados esperados.

**Tabla 20.** Características del modelo 8 para cada cultivo.

		MARACUYÁ			GRANADILLA			GULUPA		
		P >80	P 61 – 80	P 40 - 60	P >80	P 61 - 80	P 40 - 60	P >80	P 61 - 80	P 40 - 60
Topografía	Área (ha)	<b>3.728.600</b>	7.699.200	1.516.900	<b>2.259.300</b>	2.833.900	4.951.200	<b>3.321.100</b>	5.045.600	6.597.500
	Elevación	300 – 1.500	0 – 1.100	8 – 1.680	1.535 – 2.776	1.312 – 2.407	1.111 – 2.830	1.029 – 2.112	1.060 – 2.672	1.121 – 3.156
	Pendiente	media	Media	moderada	alta	alta	alta	media	media	media
Clima	T min (°C)	18,4	18,8	22,4	12,61	12,31	11,9	12,26	12,09	10,48
	T media (°C)	29,3	23,6	32	17,1	17,18	17,2	17,22	16,86	15,69
	T max (°C)	29,3	29,1	33,3	21,59	22,06	22,5	22,18	21,64	20,91
	PPT anual min (mm)	1	1,1	45	1.621	957	828	978	696	797
	PPT anual media (mm)	1,6	1,65	132	17,1	1,732	1,516	2,265,5	1,748	1,551,5
	PPT anual max (mm)	1,3	2,2	219	21,59	2,507	2,204	3,553	2,800	2,306

El cultivo del maracuyá es el que cuenta con mayor área disponible para su establecimiento para la probabilidad de >80%, cuenta con un total de 3.728.600 has, seguido de la gulupa con



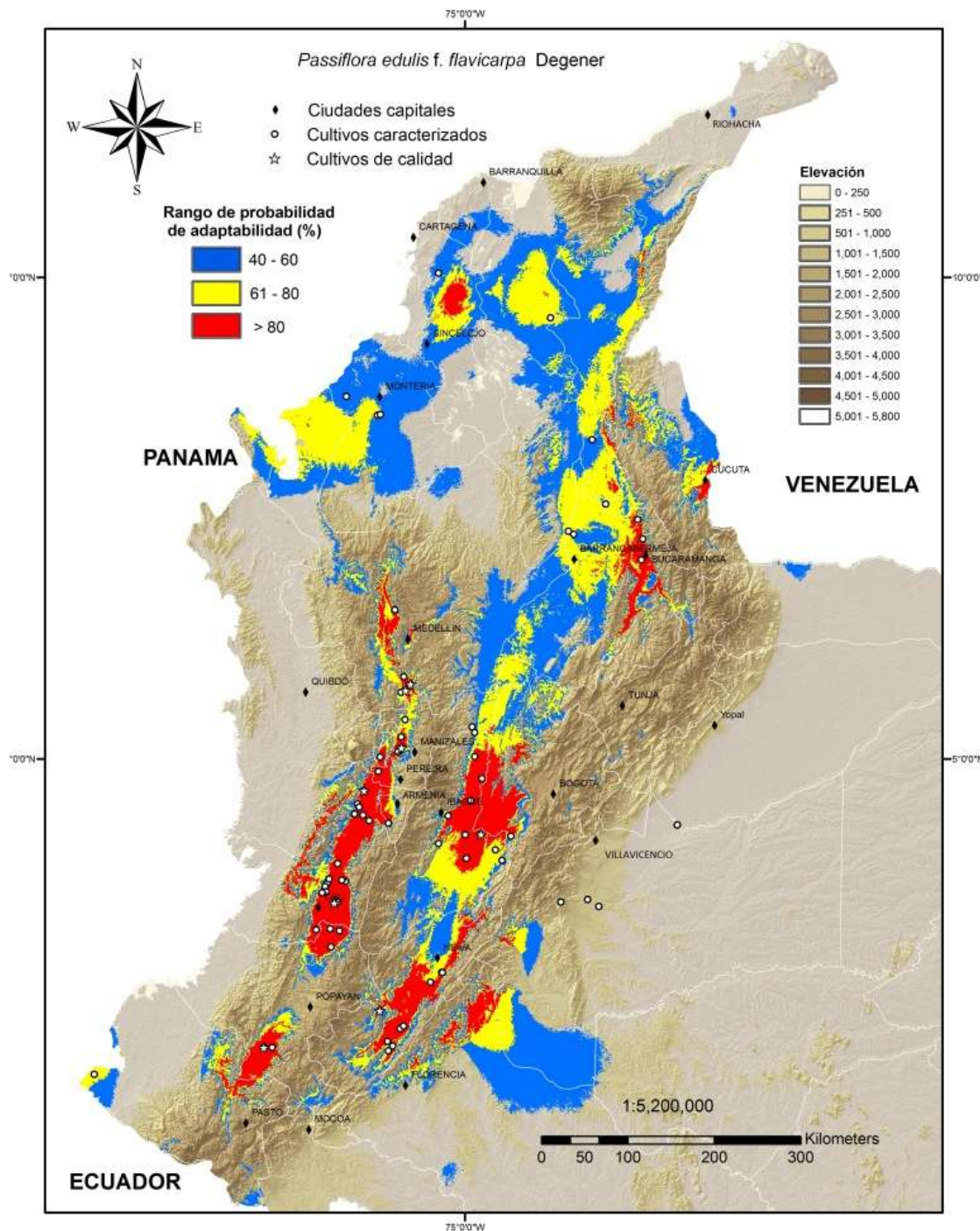
3.321.100 has y la granadilla con 2.259.300 has, menor área para establecer el cultivo. Estos mapas permiten tomar decisiones más acertadas para el desarrollo del cultivo en Colombia y es la base para futuros estudios de zonificación a un nivel más detallado incluyendo información edafológica y socioeconómica.

#### **3.8.4. Mapas de zonificación obtenidos**

Los modelos de zonificación seleccionados para cada especie identifican tres zonas de probabilidad de éxito para el establecimiento de los cultivos ( $Z_1$ : 40–60%,  $Z_2$ : 61–80% y  $Z_3$ : >80%). La de mayor importancia para la investigación es la zona tres, por cumplir con todos los requerimientos para el éxito del establecimiento del cultivo.

La zonificación para el cultivo del maracuyá (Figura 20) generó importantes áreas de probabilidad para la zona 3: >80%, coincidiendo con muchas áreas en las que se encuentran actualmente cultivos establecidos, adicionando la tradición cultural que tienen muchas de estas zonas que dieron una probabilidad alta, como es el caso del valle del Cauca, Cauca, Tolima, Huila y Cundinamarca cubriendo un total de 3'728.600 has entre los 300 a 1.300 msnm., zonas en las cuales se desarrolla mucho la actividad del maracuyá, igualmente generó áreas que serán de buena información para la exploración en el establecimiento de nuevos cultivos en departamentos como Santander, Caquetá, y Nariño.

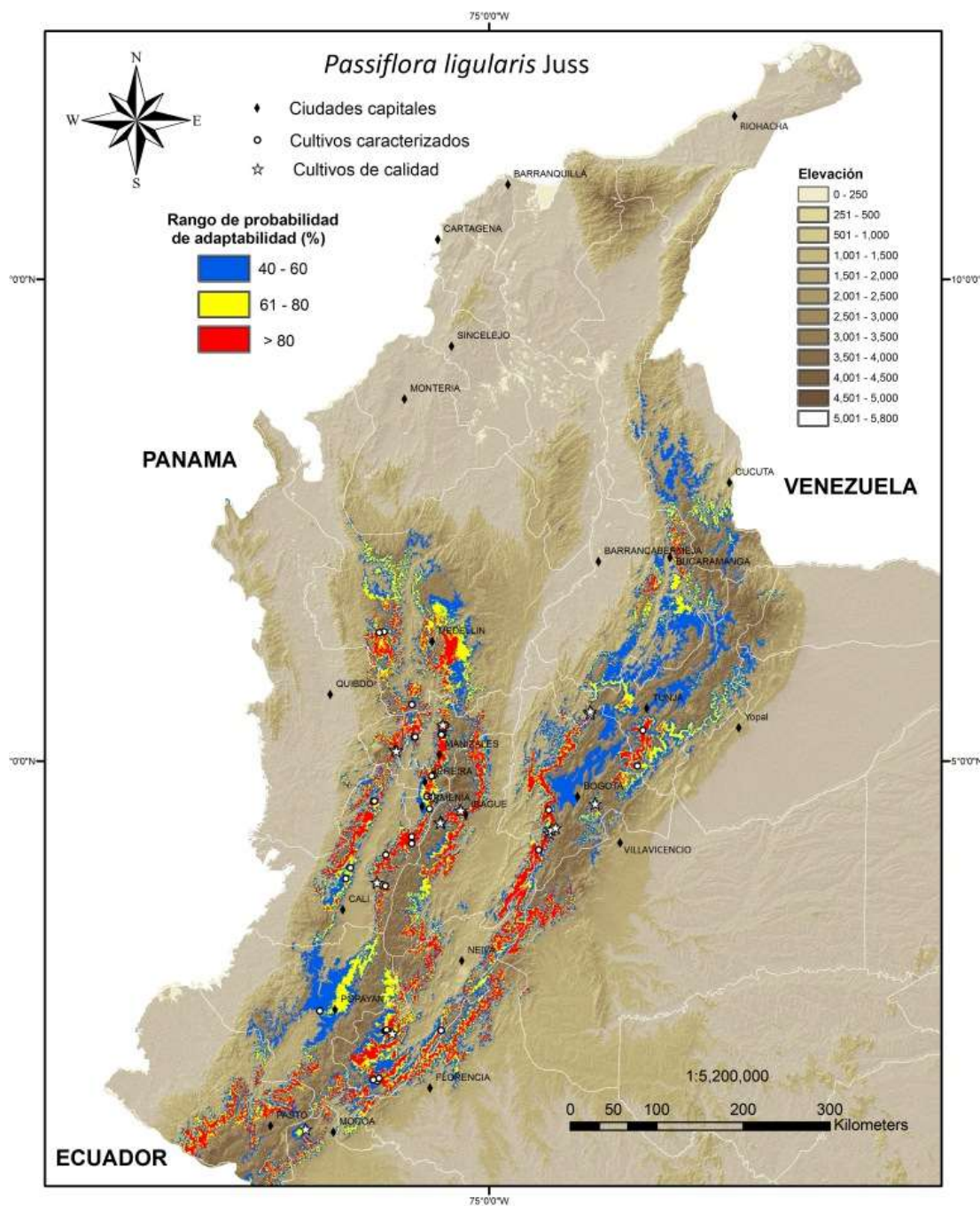
Para las probabilidades de menor éxito las áreas de distribución fueron variables en el caso de la zona 2: 61 a 80% (amarillo) obtuvo un mayor área que la zona 1: 40 a 60% (azul) pero no tan continua y con zonas que posiblemente no son muy aptas, tanto por las condiciones climáticas como por el acceso (zona litoral de Córdoba, zona interna de Magdalena y zona montañosa), aunque las zonas modeladas para la probabilidad de 40 a 60% fueron mayores y más continuas, estas de igual forma no modelaron una muy buena distribución en donde se puedan establecer los cultivos para obtener la mejor calidad (litoral de Córdoba, zona interior del Cesar y Magdalena) los cuales son zonas que tanto por aptitud climática como por acceso y tradición es difícil lograr una economía de gran impacto basada en este cultivo.



**Figura 20.** Modelo 8. Zonificación para el cultivo de maracuyá seleccionado.

La zonificación para el cultivo de la granadilla generó importantes áreas para la zona 3: > 80% con un total de 2'259.300 has entre los 1500 – 2700 m.s.n.m. distribuidas en los departamentos de Nariño, Cauca, Caquetá, Tolima, Valle del Cauca, eje cafetero, Antioquia Cundinamarca, las cuales coincidieron con la distribución actual de algunos cultivos, la granadilla por ser una pasiflora de altura y como el territorio montañoso tiene menor área en el país al comparar con

el área plana, las áreas para desarrollar este cultivo son menores que para el maracuyá (Figura 21).

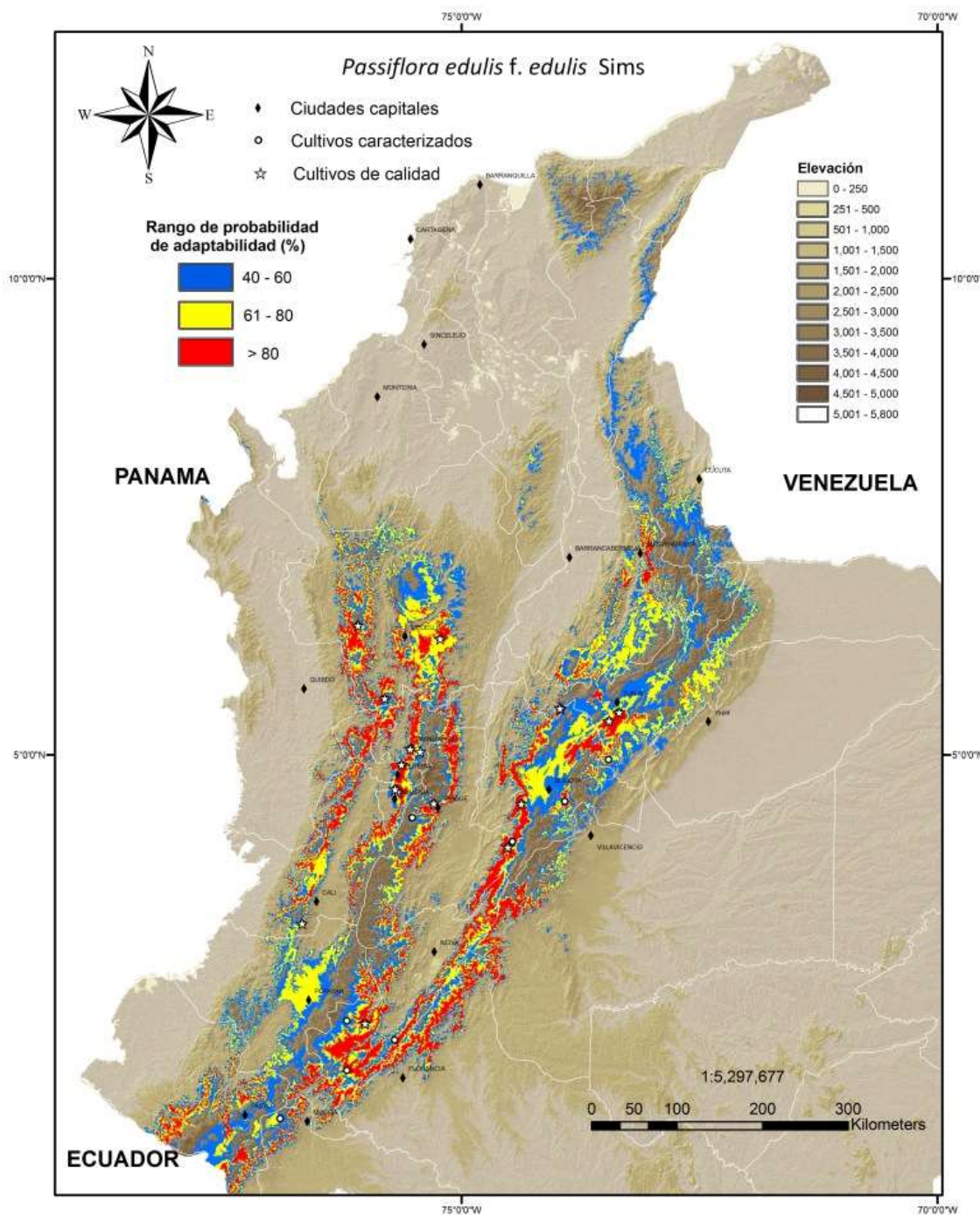


**Figura 21.** Modelo 8. Zonificación para el cultivo de la granadilla seleccionado.

La zonificación para el cultivo de la gulupa generó más áreas que para la granadilla, tal vez por ser una especie más silvestre, su ecofisiología se puede adaptar a más zonas en Colombia que la granadilla, muchas zonas de aptitud >80% se generaron en la modelación coincidiendo con algunos de los cultivos que están establecidos actualmente, cubriendo 3'321.100 has entre los



1.100 – 3.100 m.s.n.m. en los departamentos Nariño, Cauca, Caquetá, Putumayo, Valle del Cauca, eje cafetero, Antioquia, Santander, Boyacá, Cundinamarca, Tolima y Huila.



**Figura 22.** Modelo 8. Zonificación para el cultivo de la gulupa seleccionado.

Se observó que la interacción del genotipo por el ambiente, en el cultivo de la gulupa es fuerte, ya que por ser una especie más silvestre las características de su genotipo (diversidad genética) le permite la evolución de su ecofisiología y adaptación más fácil al cambio del ambiente, con lo

cual es posible que persista en el futuro en ambientes donde actualmente se encuentra y de igual forma se disperse a otros que cumplen con sus requerimientos.

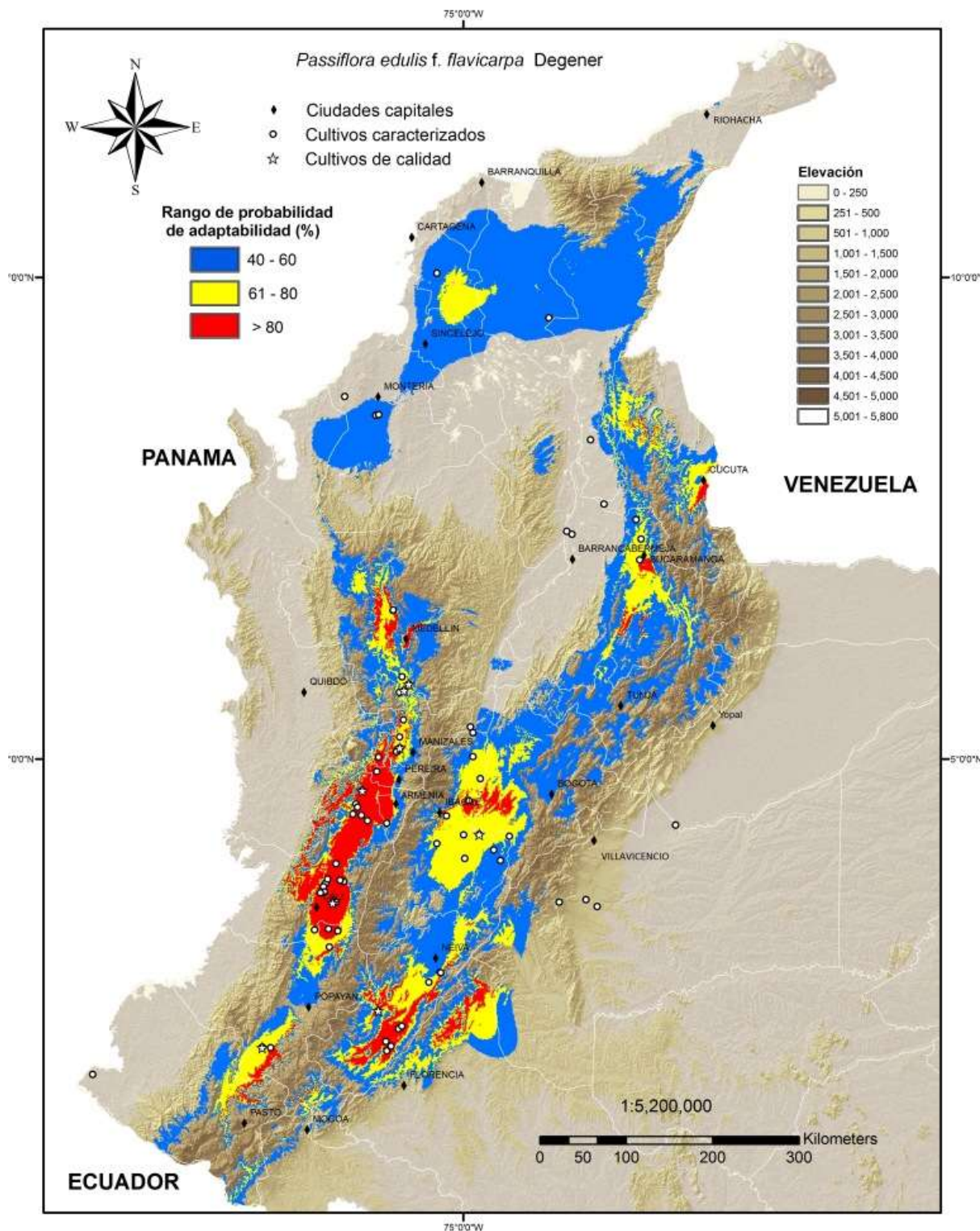
### 3.9. Modelación según el cambio climático

Se estima que efecto del cambio climático causará una pérdida drástica de áreas para el cultivo de maracuyá, un 74,8% (8'324.500 has) de las áreas actuales (12'944.700 has) y en especial en los departamentos de Bolívar, Nariño, Cauca, Tolima, Cundinamarca y Santander. En contraste, en otros departamentos las áreas se mantuvieron y además aparecieron nuevas zonas en altitudes superiores a 1.300 m.s.n.m., como ocurre en el Valle del Cauca y Huila principalmente. Para la probabilidad del éxito de > 80% las áreas pasarán de ser 3'728.600 has en la actualidad a ser 2'123.800 has en los 2050s, ubicándose en los rangos de altitud desde los 1.000 m.s.n.m. hasta los 2.300 m.s.n.m.

En general, el mayor rango de probabilidad ( $P > 80\%$ ) es altamente vulnerable al cambio y las nuevas áreas proyectadas para el cultivo en el 2050 se localizan en los pie de monte con pendientes superiores al 50% (Tabla 21). Estos nuevos nichos le exigirán al cultivo la implementación de prácticas agronómicas novedosas y cambios en la ecofisiología para que puedan adaptarse a estas nuevas condiciones, como la migración altitudinal por aumento en la temperatura, menor disponibilidad de agua (precipitación) y nuevas características bioquímicas del suelo.

**Tabla 21.** Áreas potenciales actuales y a futuro (2050s) para el establecimiento del cultivo del maracuyá respecto a los rangos de probabilidad de éxito.

Zonificación agroecológica	Rango probabilidad (%)	Área potencial actual (has)	Área potencial en 2050 (has)	Área remanente en 2050 (has)	% área perdida en 2050 (has)	Área nueva en 2050 (has)	% área nueva en 2050 (has)
Zona 1	40 - 60	1'516.900	1'451.300	424.500	72.0	1'026.800	67.69
Zana 2	61- 80	7'699.200	4'749.400	1'345.300	82.5	3'404.100	44.21
Zona 3	>80	3'728.600	2'123.800	1'489.600	60.0	634.200	17.01
<b>Total</b>		<b>12'944.700</b>	<b>8'324.500</b>	<b>3'259.400</b>	<b>74.8</b>	<b>5'065.100</b>	<b>39.13</b>



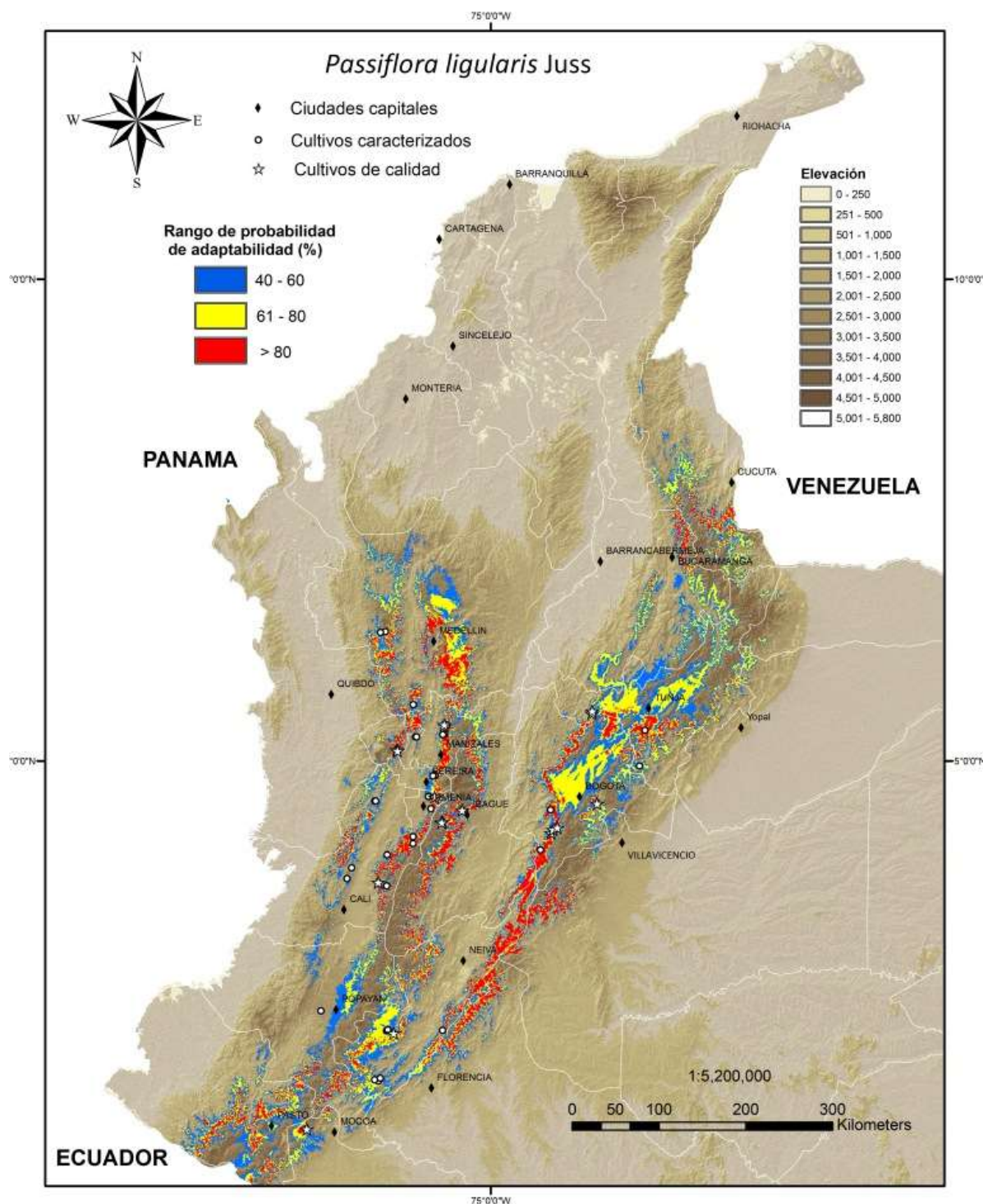
**Figura 23.** Zonas de aptitud para el cultivo de maracuyá con el cambio climático al 2050s.

El cultivo de granadilla gana más área para la zona 3: > 80% con el cambio climático un 9,6% con 1'698.100 has permanentes (Tabla 22), además ascenderá altitudinalmente ya que el cambio climático será muy evidente por lo que se distribuirá hasta 2800 m.s.n.m., adaptándose a zonas que cumplan con su ecofisiología (Figura 24). Los departamentos de Nariño, Cauca, Valle del Cauca, Tolima, Antioquia, eje cafetero, Huila, Caquetá, Meta, Cundinamarca, Boyacá y Santander en sus zonas más altas serán aptas para el desarrollo óptimo del cultivo; el cambio climático no afectó tan drásticamente este cultivo.

**Tabla 22.** Áreas tanto actuales como a futuro generadas por los modelos para granadilla.

Zonificación agroecológica	Rango probabilidad (%)	Área potencial actual (has)	Área potencial en 2050 (has)	Área remanente en 2050 (has)	% Area perdida en 2050 (has)	Área nueva en 2050 (has)	% Area nueva en 2050 (has)
<b>Zona 1</b>	<b>40 - 60</b>	4'951.200	4'293.000	1'870.700	62,22	2'422.300	48,92
<b>Zona 2</b>	<b>61- 80</b>	2'833,900	3'318.300	2'499.800	11,79	818.500	28,88
<b>Zona3</b>	<b>&gt;80</b>	2'259.300	1'915.500	1'698.100	24,84	217.400	9,62
<b>Total</b>		<b>10'044.400</b>	<b>9'526.800</b>	<b>6'068.600</b>	<b>39,58</b>	<b>3'458.200</b>	<b>34,43</b>



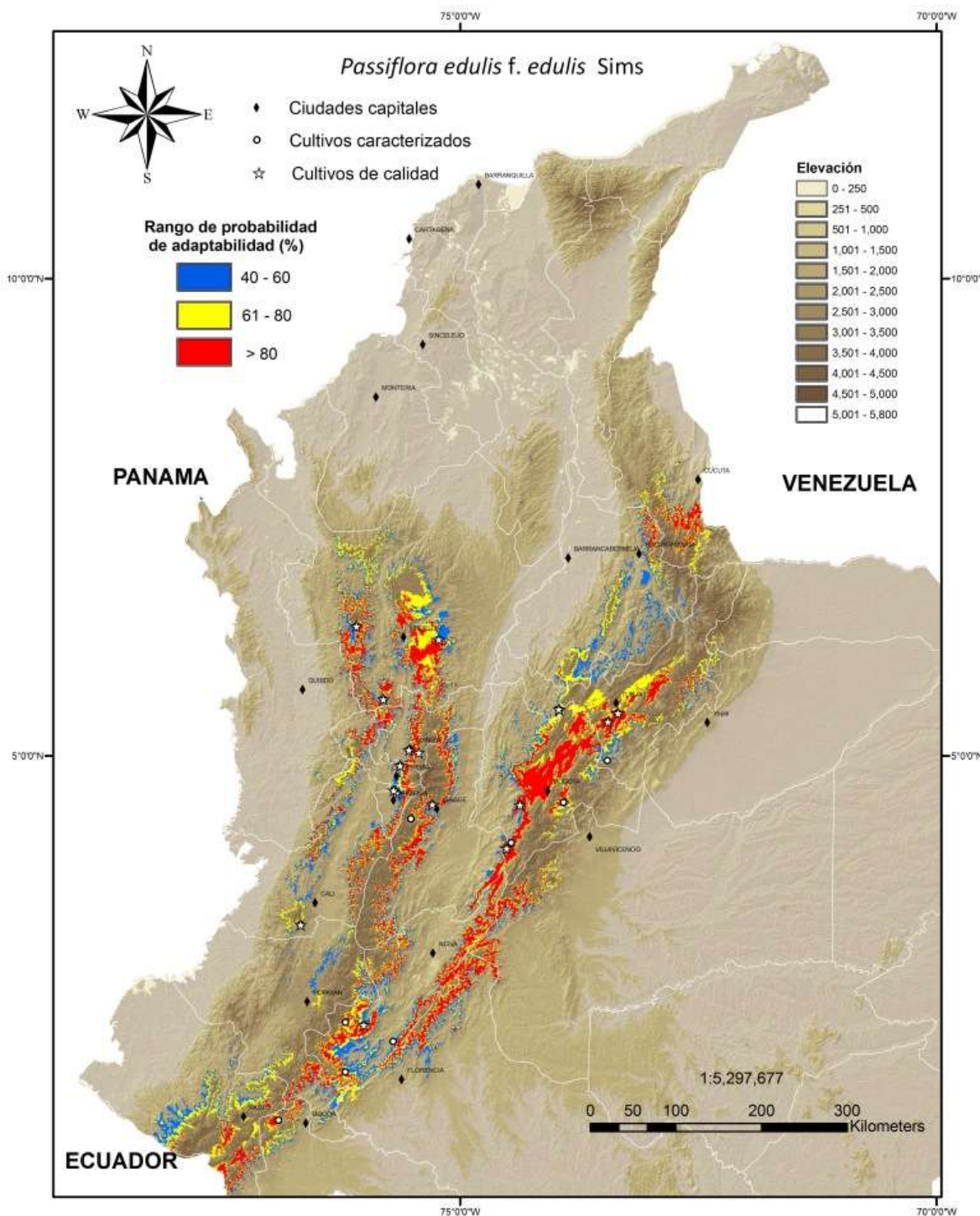


**Figura 24.** Zonas de aptitud para el cultivo de granadilla con el cambio climático al 2050s.

El cultivo de la gulupa (Figura 25), pierde una parte de su área actual, aunque de igual forma gana nuevas áreas por encima de los 2100 m.s.n.m. hasta los 2600 m.s.n.m. (Tabla 23), el área



de mayor aptitud (> 80%, rojo) ocupa gran porcentaje de la zonificación con 2'420.600 has, las áreas de menor aptitud quedan con muy poca cantidad de lo que tienen para la actualidad. En todos los departamentos con territorios en las cordilleras oriental y central presenta gran distribución la zona 3: > 80%, principalmente en la cordillera oriental, indicando que las condiciones de esta zona se ajustan más a la ecofisiología que necesita el cultivo.



**Figura 25.** Zonas de aptitud para el cultivo de gulupa con el cambio climático al 2050s.

**Tabla 23.** Áreas tanto actuales como a futuro generadas por los modelos para gulupa.

Zonificación agroecológica	Rango probabilidad (%)	Área potencial actual (has)	Área potencial en 2050 (has)	Área remanente en 2050 (has)	% área perdida en 2050 (has)	Área nueva en 2050 (has)	% área nueva en 2050 (has)
Zona 1	40 - 60	6'597.500	1'713.600	1'708.300	74,11	5.300	0,08
Zona 2	61- 80	5'045.600	2'529.100	1'978.600	60,79	550.500	10,91
Zona 3	>80	3'321.100	2'420.600	2'054.700	38,13	365.900	11,02
<b>Total</b>		<b>14'964.200</b>	<b>6'663.300</b>	<b>5'741.600</b>	<b>61,63</b>	<b>921.700</b>	<b>6,16</b>

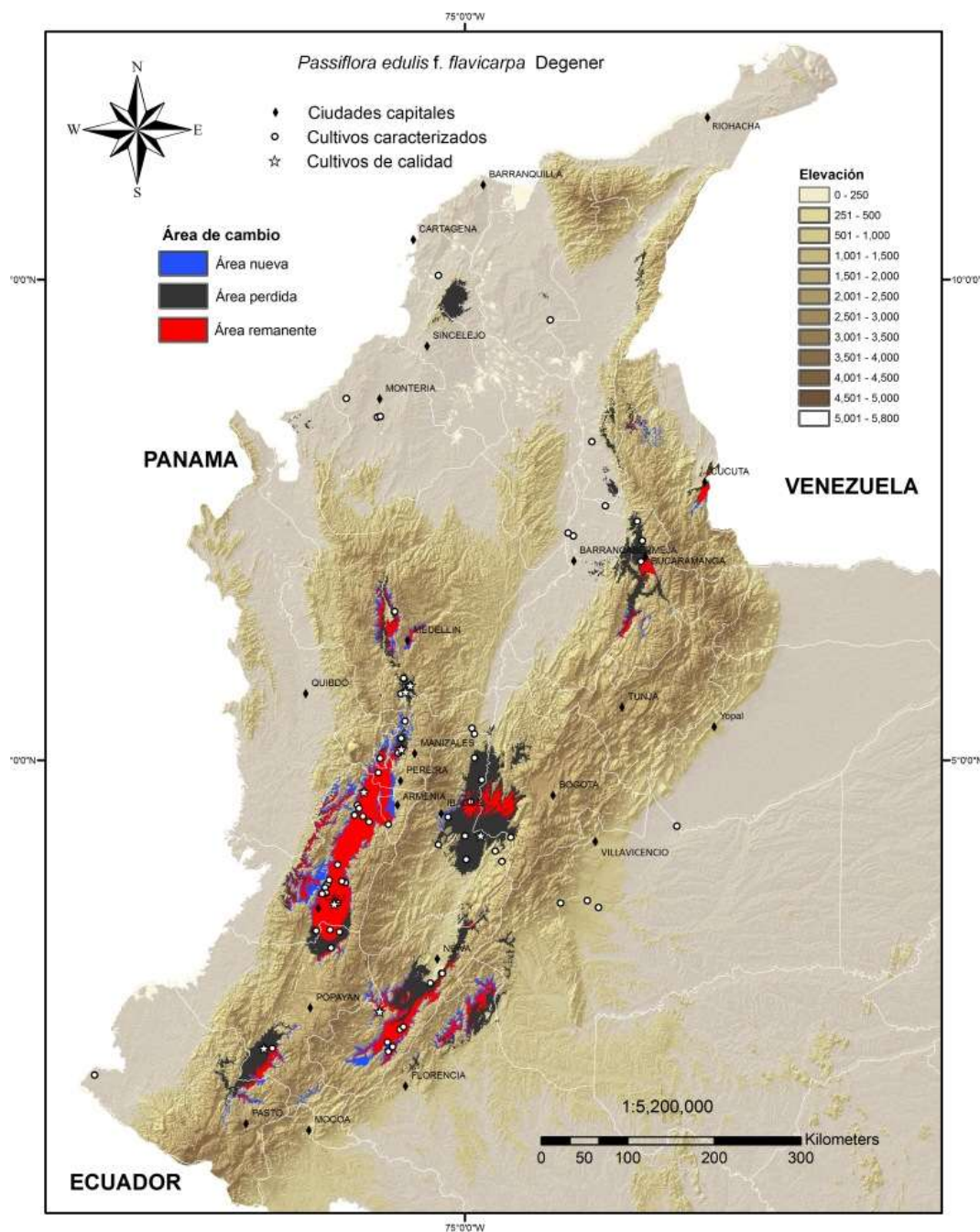
Se puede observar que en la gulupa las áreas de menor aptitud se disminuyeron drásticamente (74% y 60%) pero el área de mejor aptitud presenta una mejor adaptación al cambio climático (perdió solo 38%), indicando que las zonas de éxito > 80% no cambiaron de una forma tan radical, tal vez por ser una especie más silvestre, tiene mayor diversidad genética que el maracuyá y la granadilla, que están en proceso de domesticación, además por ser más influida por las variables ambientales la interacción de ese genotipo por el ambiente la obligará a evolucionar y adaptarse al medio ambiente cambiante.

Finalmente caber resaltar que muchas de estas zonas que han ganado los cultivos pueden ser áreas naturales que aún no se encuentran protegidas bajo legislaciones ambientales, que de igual forma son de gran importancia para la conservación de la biodiversidad, pero aún no se sabe cómo será esta situación para estos relictos naturales en el futuro, para que no suceda como ocurrió en el pasado con los bosques andinos y los páramos, los cuales muchas actividades agrícolas devoraron por la falta de legislación en esta materia. En conclusión, estos resultados son una herramienta más que permitirá a los productores tener una aproximación del comportamiento de los cultivos a un futuro, pero las decisiones finales deben ir de la mano de las autoridades pertinentes (UMATAS, Corporaciones autónomas, etc.).

### **3.10. Áreas de cambio**

Los mapas de cambio se presentan sólo para la zona 3: >80%, las demás áreas no se graficaron en este mapa, con el fin de hacer más gráficos los resultados de pérdida y ganancia de áreas para cada cultivo en el área de mayor importancia, ya que es el que garantiza los mejores resultados de producción; en color rojo se muestran las áreas que no tuvieron cambio, es decir que permanecieron después de proyectar el cambio climático, en azul las áreas ganadas y en negro las áreas perdidas.

Para el cultivo de maracuyá (Figura 26) el área que permanecerá sin cambio se estima de 1'489.600 has, principalmente en el departamento del Valle del Cauca indicando que en esta zona no sufrirá grandes cambios en el futuro.

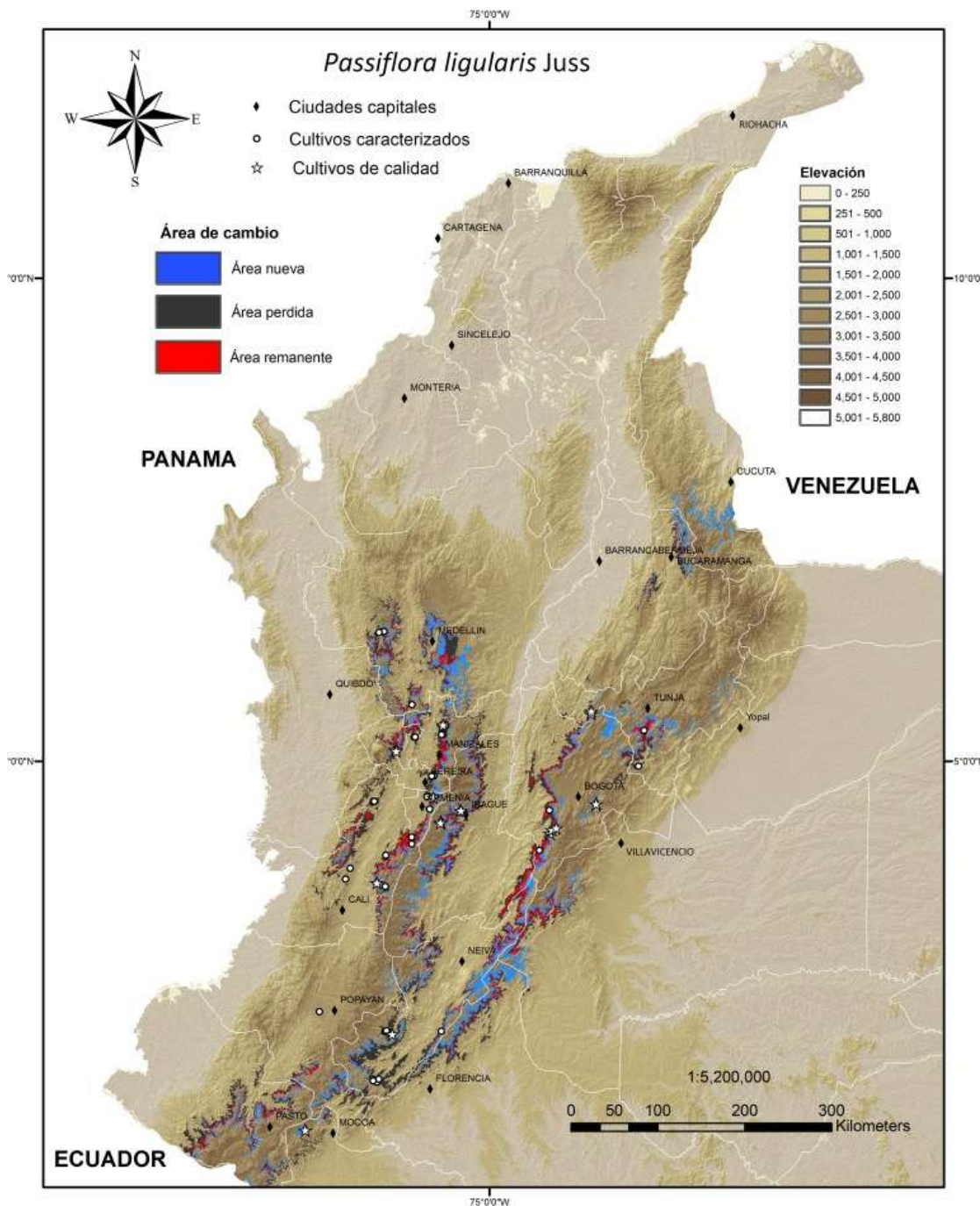


**Figura 26.** Mapa de cambio para el cultivo de maracuyá (áreas nuevas, remanentes y perdidas).

Las áreas perdidas fueron mayores que las ganadas en el resto del territorio nacional, por lo que se puede inferir que el cambio climático hizo que el nicho ecológico de esta especie se vea más reducido.

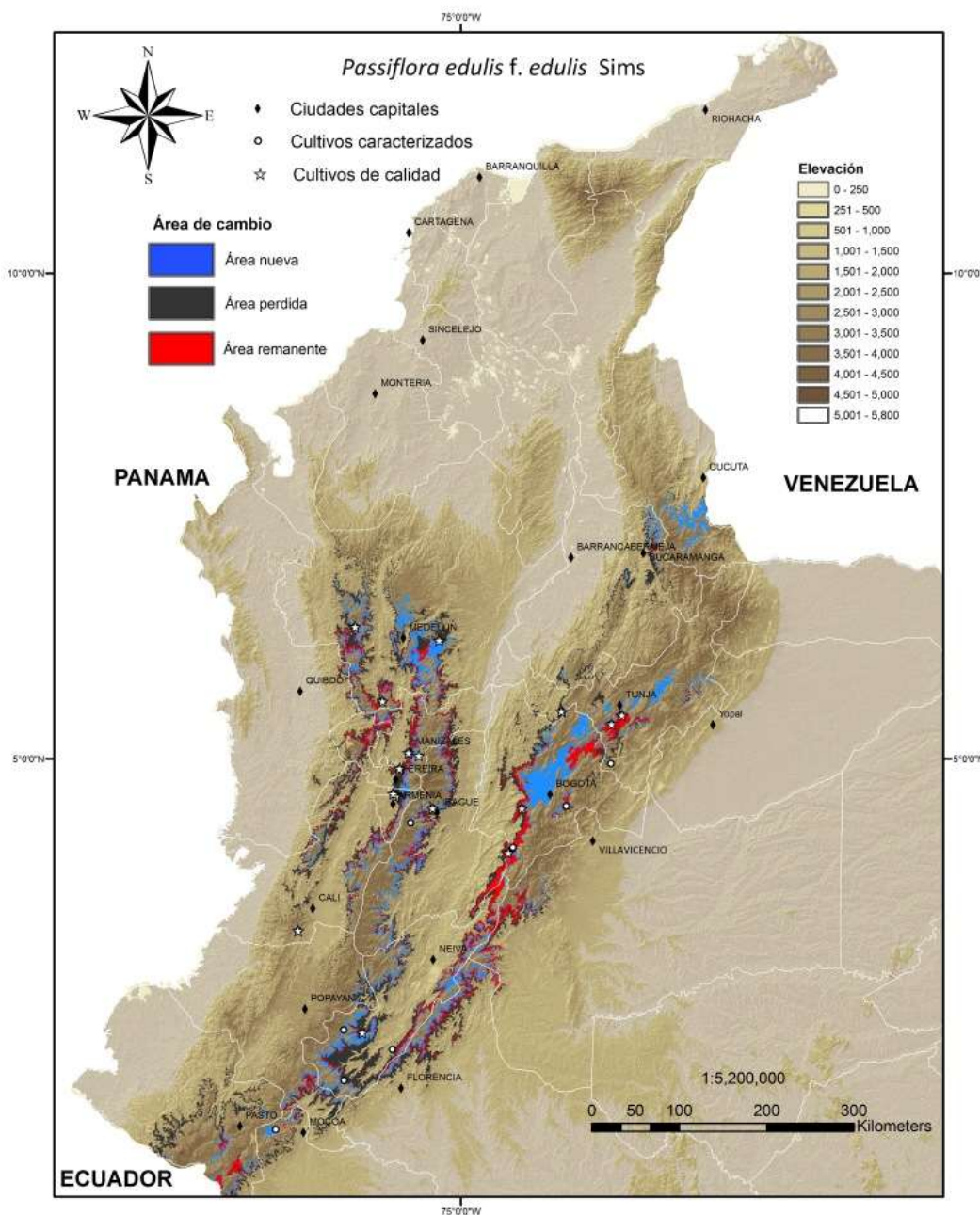


Para el cultivo de granadilla se puede apreciar con más claridad que la zona 3: > 80% ganó bastante área, perdió poca y de igual forma permaneció poca área de la actual, indicando que este cultivo buscó nuevas áreas y que su adaptación es menor que la del maracuyá (migración altitudinal) ó que sus áreas actuales tendrán cambios ambientales muy drásticos que no le permitirá permanecer en todas las áreas que ocupa actualmente.



**Figura 27.** Mapa de cambio para el cultivo de granadilla (áreas nuevas, remanentes y perdidas).

Para el cultivo de la gulupa el área de mayor aptitud (>80%) que permaneció fue un poco mayor que en la granadilla, el área ganada también en la zona 3 (> 80%) fue mayor (365.900 has gulupa frente a 217.400 has en granadilla), indicando que estas zonas que modelaron para la probabilidad > 80% con el cambio climático presentan mejores características para el establecimiento de este cultivo, pero no se debe olvidar que es necesario tener en cuenta en cuales ecosistemas modeló estas zonas, ya que en el futuro las zonas de protección se pueden expandir y no ser viables para el desarrollo de este cultivo.



**Figura 28.** Mapa de cambio para el cultivo de gulupa (áreas nuevas, remanentes y perdidas).

#### **4. Conclusiones**

La ecofisiología del maracuyá, la granadilla y la gulupa fue establecida por medio de la revisión bibliográfica, colectas en campo y análisis climático. Estos parámetros ecofisiológicos (altitud, temperatura, precipitación, pH, textura y profundidad de suelo) permitieron generar los diferentes modelos geográficos para la definición de zonas óptimas para el cultivo.

Las variables climáticas (Bioclim) derivadas de temperaturas (mínima, máxima y promedio) y precipitación promedio anual mostraron correlaciones con los parámetros fisicoquímicos del fruto. Así, el maracuyá presenta una correlaciones ( $r = 0,50$  a  $0,54$ ) entre las variables de temperatura y forma del fruto (DFR/LFR); la granadilla presentó correlaciones ( $r = 0,50$  a  $0,53$ ) entre temperaturas y la longitud del fruto, y la precipitación con °Brix; la gulupa mostró que las variables de fruto presentaron correlación ( $r = 0,50$  a  $0,78$ ) con las temperaturas y las precipitaciones.

El mejor modelo para realizar la zonificación de los cultivos fue generado con el programa Maxent, ya que este es más coherente con la distribución actual de los cultivos y coincide con el criterio de experto, respecto a las zonas donde estas especies se cultivan. Además, este mostró mayor especificidad y sensibilidad (ROC: área bajo la curva) frente a los demás modelos estudiados con el software Diva-Gis.

La modelación a futuro (2050s) muestra que el cambio climático tendrá un efecto negativo en la distribución actual de los cultivos, ya que las zonas definidas actualmente cambiarán de aptitud y habrá una migración altitudinal. La vulnerabilidad de los cultivos frente al cambio climático dependerá de la capacidad de adaptación de acuerdo a la plasticidad genética de las especies (ecofisiología, genotipo x ambiente) y de las nuevas prácticas agronómicas respecto a la variabilidad climática (temperatura y la precipitación) y la disposición de los recursos naturales y socioeconómicos.

La metodología desarrollada en esta investigación es modelo para la zonificación agroecológica en otros cultivos, la cual puede ser empleada como una herramienta para la planificación y toma de decisiones acertadas por los productores para una agricultura ecoeficiente. Así mismo, permitirá identificar las mejores áreas para el establecimiento de los cultivos que garanticen mejores rendimientos, menor impacto en la biodiversidad (e.g. polinizadores) y la mitigación de las pérdidas económicas por problemas fitosanitarios en la protección del cultivo y el efecto del cambio climático.

La zonificación realizada a nivel nacional es una aproximación para futuros estudios a nivel regional o departamental con parámetros ecológicos (suelos, fuentes hídricas, entre otros) y socioeconómicos más detallados (infraestructura rural, acceso a mercados, arraigo y tradición por el cultivo, etc.). Además, este estudio es una apertura para una agricultura de precisión al alcance de los productores de todo el país con énfasis en la sustentabilidad.

## Comunicaciones en seminarios y congresos

---

- **58th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture y XVI Congreso de la sociedad Peruana de Horticultura.** “Zonificación agroecológica y efecto del cambio climático en el cultivo de maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener) en Colombia” Lima, Perú, 3 – 6 septiembre de 2012.
- **VII Simposio Internacional de Recursos Genéticos de América latina y el Caribe SIRGEALC.** “Estrategias para la conservación de semillas en tres especies cultivadas del género *Passiflora* L. en Colombia” 21 – 23 de noviembre de 2011.
- **IV Congreso Colombiano de Horticultura: Aportes de la Investigación al Desarrollo de la Horticultura en el Siglo XXI.** 17 – 18 noviembre de 2011. “Zonificación agroecológica del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) para mejorar los sistemas de producción en Colombia”.
- **VI Congreso Colombiano de Botánica, Biodiversidad, Desarrollo y Cultura: una visión integradora:** “Estudios del comportamiento fisiológico de la semilla de gulupa (*Passiflora edulis*) como estrategia para su conservación”. Cali 11 – 15 agosto de 2011.
- **Avances Tecnológicos en los Cultivos del Maracuyá, Granadilla y Gulupa en Colombia (aprovechamiento de la diversidad y mejoramiento de los sistemas de producción).** “Estudios del comportamiento fisiológico de la semilla del maracuyá, la granadilla y la gulupa como estrategia para su conservación y Definición de zonas agroecológicas para mejorar el sistema de producción maracuyá, la grandilla y la gulupa en Colombia” Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Palmira, 2011.
- **Primer Seminario de Agricultura de Precisión** “Zonificación agroecológica para mejorar el sistema de producción del maracuyá en Colombia. SENA Buga, Agosto 2011”.
- **Primer Congreso Latinoamericano de Passiflora** “Definición de zonas agroecológicas para mejorar los sistemas de producción del maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), grandilla (*Passiflora ligularis* Juss.) y gulupa (*Passiflora edulis* Sims) en Colombia”. 3 – 5 noviembre de 2010.
- **Semana de la ciencia y tecnología Universidad Nacional de Colombia** “Estudios del comportamiento fisiológico de la semilla de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) para la conservación ex-situ” 23 al 26 de Octubre de 2012.



## Bibliografía

---

- Abdalla, S.T. & Mckelvie, A.D. 1980. The Interaction of chilling and gibberellic acid on the germination of seeds ornamental plants. *Seed Science and Thechnology* 8: 139-144.
- Agronet, 2011. Estadísticas, Reportes estadísticos, Principales departamentos productores de maracuyá ordenados por área 2010. <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas/ReportesEstad%C3%ADsticos.aspx>
- Aguirre, R. & Peske, S. 1992. Manual para el beneficio de semillas, segunda edición, Centro internacional de agricultura tropical. 253 p.
- Aristizábal, M. & Álvarez, L. 2006. Efectos del deterioro de la semilla sobre el vigor, crecimiento y producción del maíz (*Zea mays*). *Universidad de Caldas. Agronomía* 14(1): 17-24.
- Benson, W.W., Brown K.S. y Gilbert, L.E. 1976. Coevolution of plants and herbivores: Passion vine butterflies. *Evolution* 29: 659-680.
- Bergner, P. 1995. Passionflower. *Medical Herbalism* 7: 13–14.
- Bernal, J.A. 1999. Plagas y enfermedades de la grandilla (*Passiflora ligularis*) *Revista ICA. División de sanidad vegetal*: 29-36.
- Blackmore, S. 2007. Agricultura de precisión AP. *Revista Nacional de Agricultura, SAC (Sociedad Colombiana de Agricultores)* No. 949: 9 p.
- Bonilla, C.R., Arce, L. K., Sánchez, O. y Escobar, R. 2007. Morfoanatomía y respuesta fisiológica de las semillas de chambimbe a condiciones de crioconservación. *Acta agronómica* 56 (3): 135-140.
- Bruckner, C.H. & Otoni, W.C. 1999. Hibridação em maracujá. In: Borém, A. (Ed.), *Hibridação artificial de plantas*. UFV, Viçosa: 379-399.
- Büchert, A. & Mogens, J. 2001. The fragility of extreme specialization: *Passiflora mixta* and its pollinating hummingbird *Ensifera ensifera*. *Journal of Tropical Ecology* 17: 323-329.
- Carbonell, J., Amaya, A., Ortiz, B.V., Torres, J.S., Quintero, R. y Isaacs, C.H. 2001. Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Tercera aproximación. Cali, Centro de investigación de la caña de azúcar en Colombia . Serie técnica No. 29: 46 p.

- Carbonell, J.A., Quintero, R., Torres, J.S., Osorio, C.A., Isaacs, C.H. y Victoria, J.I. 2011. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. Cali, Cenicaña. Serie técnica No. 38: 119 p.
- Cárdenas, J.F. 2011. Morfología y tratamientos pregerminativos de semillas de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). Tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. 75 pp.
- Carlesso, V.O., Berbert, P.A., da Silva, R.F., Vianna, A.P., Detmann, E. y Dionello, R.G. 2005. Secagem de sementes de maracujá em camada delgada. Revista Brasileira de Fruticultura 27(3): 444-448.
- Cenicaña, Centro de investigación de la caña de azúcar. 2012. Información meteorológica y climatológica, Información horaria. Consultas a la Base de datos de la Red Meteorológica Automatizada–RMA. Estación Palmira La Rita. [http://www.cenicana.org/clima\\_/index.php?#](http://www.cenicana.org/clima_/index.php?#)
- Chacón, A.C. 1991. El cultivo del maracujá en Colombia, Memorias primer simposio internacional de passifloras, Palmira Octubre 29 a Noviembre 1. 147-152.
- Chau, C.F. & Huang, L. 2004. Characterization of passion fruit seed fibres a potential fibre source. Food Chemistry 85: 189–194.
- Chopra, R.N., Nayar, S.L. y Chopra, I.C. 1956. Glossary of Indian Medicinal Plants. CSIR, New Delhi, India: 186–187.
- CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 2011. EcoCrop, Forecasting potential niches for crop production, Expert cross checking and validation of crop niche predictions. <http://gisweb.ciat.cgiar.org/ClimateChange/EcoCropFB/#> .
- Cerón, A., Osorio, M. y Hurtado, B. 2012. Identificación de ácidos grasos contenidos en los aceites extraídos a partir de semillas de tres diferentes especies de frutas. Acta Agronómica 65(2): 126-132.
- Cleves, A., Jarma, A. J. y Fonseca, J. 2009. Manejo integrado del cultivo de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). Libro de Resúmenes Cultivo, Poscosecha y comercialización de las Pasifloráceas en Colombia: Maracujá, Granadilla, Gulupa y Curuba: 97 – 119.
- Cock, J. & Jiménez, D. 2011. La agricultura específica por sitio: Definición e importancia. Asociación de técnicos de la caña de azúcar de Colombia (Tecnicaña). Seminario de

- agricultura específica por sitio y agricultura de precisión. Memorias. Cali, Colombia. Septiembre 28 – octubre: 72 – 83.
- Coppens d'Eeckenbrugge, G. 2003. Promesas de las pasifloras. Memorias del X Seminario Nacional y IV. Internacional sobre Especies Promisorias, Medellín. Octubre 29-31.
- Costa, J.C., Simões, O.C. y Costa, M.A. 2010. Escarificacão mecânica e reguladores vegetais para superação da dormência de sementes de *Passiflora setacea* D.C. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 271. Embrapa Cerrados, Planaltina, D.F.
- Cuesta, C.F., Peralvo, M. y Ganzenmüller, A. 2008. Posibles efectos del calentamiento global sobre el nicho climático de algunas especies en los Andes Tropicales. Páramo y Cambio Climático. # 23. Serie Páramo. Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador / EcoCiencia. Quito - Ecuador. CONDESAN-Proyecto Páramo Andino: 15-29.
- De Melo, F., Cervi, A. y Guerra, M. 2001. Karyology and cytotaxonomy of the genus *Passiflora* L. (*Passifloraceae*). Plant Systematics and Evolution 226: 69-84.
- De Melo, F. y Guerra M. 2003. Variability of 5S and 45S rDNA sites in *Passiflora* L. species with distinct base chromosome numbers. Annals of Botany 92: 309- 316.
- De Melo, N.F. 2001. Karyology and cytotaxonomy of the genus *Passiflora* L. (*Passifloraceae*). Plant Systematics and Evolution 226: 69-84
- Debouck, D.G., Libreros, F.D. 1995. Neotropical montane forests: a fragile home of genetic resources of wild relatives of New World crops. "Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests", Churchill, S.P., Baslev, H., Forero, E., and Luteyn, J.L. (eds.), New York Botanical Garden, New York, USA: 561-577.
- Delouche, J.C. & Baskin, C.C. 1973. Accelerated ageing techniques for predicting the relative storability of seed lots. Seed Science Technology 1: 427- 452.
- Delouche, J.C. & Caldwell, P.W. 1960. Seed vigor and vigor tests. Proceedings of the Association of Official Seed Analysts 50(1): 136-140.
- Delouche, J.C. 1976. Germinación, Deterioro y Vigor de semillas. Seed News, Mississippi State University. Journal of Seed Technology (1): 75-86.
- Dharwan, K., Dhawan, S. y Sharma, A. 2004. *Passiflora*: a reviewupdate, Journal Ethnopharmacol 94: 1 –23.

- Duarte, F.J., Vasconcellos, M.S. y Carvalho, C.M. 1998. Germinação de sementes de *Passiflora giberti* N. E. Brow sob temperatura controlada. In: Simpósio Brasileiro Sobre A Cultura do Maracujazeiro, 5., Jaboticabal. Anais Jaboticabal: FUNEP: 315-316.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E. y Yates, C.J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for Ecologists Diversity and Distributions, Diversity Distribution 17: 43–57.
- Ellis, R.H. & Roberts, E.H., 1980. The influence of temperature and moisture on seed viability in barley (*Hordeum distichum* L.). Annals of. Botany, 45: 31-37.
- Ellis, R.H. & Roberts, E.H. 1985. Handbooks for Genebanks: No. 3, International Board for Plant Genetic Resources. Chapter 55. *Passifloraceae*.
- Escobar, L.A. 1991. La Sistemática y evolución de las Pasifloras. Memorias Primer Simposio Internacional de Pasifloras, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 51 p.
- ESRI. 2011. Products, ArcGIS. <http://www.esri.com/products/index.html>
- FAO, 1993. Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE, Santiago, Chile. 392 p.
- FAO, 1995. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Boletín tierras y aguas de la FAO, No. 5. 205 p.
- FAO, 1997. Boletín de suelos de la FAO 73, Zonificación agroecológica Guía general. ISBN 92-5-303890-X. 82 p.
- Fernandes, E. & Nakagawa, J. 2005. Avaliação da potencialidade fisiológica de sementes de maracujá- doce (*passiflora alata dryander*) submetidas ao armazenamento. Revista Brasileira de Fruticultura 27(1): 52-54.
- Ferreira, F. 2005. Capítulo 2: Recursos geneticos de *Passiflora*. En: Maracujá germolasma e melhoramento genético. Brasil, EMBRAPA. 677 p.
- Feuillet, C. 2002. A new series and three new species of *Passiflora* subgenus *Astrophea* from Guianas. Brittonia 54: 18-29.
- Feuillet, C. 2004. *Passiflora phellos*, a new species in subgenus *Passiflora* (Passifloraceae). Novon 14: 285-287.
- Feuillet, C. & MacDougal, J.M. (2003) A new infrageneric classification of *Passiflora* L. (*Passifloraceae*). *Passiflora* 13 (2): 34-38.

- Fielding, A. & Bell, J., 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models, *Environmental Conservation* 24 (1): 38–49.
- Fischer, G., Casierra, P.F. y Piedrahíta, W. 2009. Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. Libro de Resúmenes Cultivo, Poscosecha y comercialización de las Pasifloráceas en Colombia: Maracuyá, Granadilla, Gulupa y Curuba. Páginas 45 – 67.
- Fischer, G., Van Velthuisen, H., Shah, M. y Nachtergaele, F., 2002. Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. 28 p.
- Fonseca, S.C. & Silva, W. 2005 Conservação de sementes de maracujá-amarelo: interferências do teor de água das sementes e da temperatura de armazenamento. *Bragantia* 64 (2): 273-289.
- French, A.N., Schmugge, T.J., Ritchie, J.C., Hsu, A., Jacob, F. y Ogawa, K. 2008. Detecting land cover change at the Jornada Experimental Range, New Mexico with ASTER emissivities. *Remote Sensing of Environment* 112: 1730-1748. [http://modis.gsfc.nasa.gov/sci\\_team/pubs/abstract.php?id=01830](http://modis.gsfc.nasa.gov/sci_team/pubs/abstract.php?id=01830)
- Frutipaz, Asociación de Productores de Frutos del Sumpaz, Granadilla, Fusagasuga Cundinamarca. [www.frutipaz.com/descargas%20Frutipaz/Granadilla.php](http://www.frutipaz.com/descargas%20Frutipaz/Granadilla.php) -
- Galindo, P., Gómez, J.R. y Sánchez, S. 2010. Gulupa *Passiflora edulis* Sims, Producción y manejo poscosecha. Corredor Tecnológico Agroindustrial. Cámara de comercio de Bogotá.
- Galindo, P.J. y Mazorra, A.M. 2010. Granadilla *Passiflora ligularis* Juss., Producción y Manejo Poscosecha. Corredor Tecnológico Agroindustrial, Cámara de Comercio de Bogotá. 84 p.
- Gantz, J. 1990. GIS Meets GPS. *Computer Graphics World*, October, 33-36.
- García, L.J., & Ortiz, L. 2005. Generación de un modelo de zonificación edafoclimática y socioeconómica a nivel departamental y municipal, para la producción de mora, lulo, maracuyá, chulupa, granadilla, uva y tomate de árbol en el departamento del Huila. Corpoica. 285 p.
- García, L.J., Romero C.M. y Ortiz, L. 2005. Caracterización zonificación de áreas potenciales para el cultivo del cacao en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Corpoica. 75 p.

- García, M.M. 2008. Manual de manejo cosecha y poscosecha de granadilla. Bogotá, Corpoica, 100 p.
- García, T.M. 2002. Guía técnica cultivo maracuyá amarillo. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, San Salvador. 36 p.
- GBIF, 2012. Global Biodiversity Information Facility in Spain, nodo nacional de información en biodiversidad, Sistemas de Información Geográfica (SIG): Técnicas básicas para estudios de biodiversidad. [http://www.gbif.es/ficheros/Guion\\_SIG.pdf](http://www.gbif.es/ficheros/Guion_SIG.pdf)
- Gil, A.I. & Miranda, D. 2008. Efecto de la temperatura inmersión en agua y concentración de fitorreguladores sobre la germinación de semillas de papaya (*Carica papaya* L.) 12 p.
- Gremillion, K.J. 1989. The development of a mutualistic relationship between humans and maypops (*P. incarnata* L.) in the Southeastern United States. *Journal of Ethnobiology* 9: 135–158.
- Guevara, C., Ospina J., Caicedo L., Barney V., Coppens d'Eeckenbrugge G., 2003. Seed cryopreservation in three *Passiflora* species. CIAT, Unidad de Recursos Genéticos, IPGRI. 1-9.
- Hernández, A., y Bernal, R. 2000. Lista de Especies de Passifloraceae de Colombia. *Biota Colombiana* 1 (3): 320-335.
- Hickey, M., King, C. 1988. 100 Families of Flowering Plants, Cambridge University Press: Cambridge.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. y Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25 (1): 965–1978.
- Hijmans, R.J., Guarino, L., Bussink, C., Mathur, P., Cruz, M., Barrantes, I. y Rojas, E. 2004. DIVA-GIS, Versión 4, Sistema de Información Geográfica para el Análisis de Datos de Distribución de Especies. 83 p.
- Ho, W.F., & Shii C.T. 1986. Universidade Estadual Paulista. Botucatu. Incompatibility system in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Acta Horticulturae* 194: 31–38.
- Holm-Nielsen, L.B., Jørgensen P.M. y Lawesson J.E. (1988) Passifloraceae. In: Harling & L. Andersson (eds.), *Flora of Ecuador* 31: 124 p.
- Hong, T.D., & Ellis, R.H. 1996. Seed storage behavior: a compendium handbooks for genebanks N. 4. International Plant Genetic Resources Institute. Rome. 642 p.

- Hong, T.D., Linington, S. y Ellis, R.H. 1998. Compendium of information on seed storage behaviour. Vols. I & II. Royal Botanic Gardens, Kew. 62 p.
- ICONTEC, 1997. Norma Técnica Colombiana, NTC 4101, Frutas frescas, granadilla. Especificaciones. 14 p.
- IGAC, Corpoica. 2002. Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia, Capítulo I, Parte A, Zonificación Agroecológica de Colombia. 48 p.
- IPCC, 2000. Escenarios de emisiones, Resumen para responsables de políticas, Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. 20p.
- IPCC, 2007. Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza. 104 p.
- Isaacs E.C., Carrillo C.V., Anderson A.E., Carbonell G.J. y Ortiz U.B. 2004. Desarrollo de un sistema interactivo de información en web con el enfoque de agricultura específica por sitio. Cali, Cenicaña. Serie Técnica No. 34: 73 p.
- ISTA, International Seed Testing Association 2009. International rules for seed testing, Chapter 5 Germination Test. 57 p.
- Jamir, T.T., Sharma, H.K. y Dolui, A.K. 1990. Folklore medicinalplants of Nagaland, India, Fitoterapia 70: 395–401.
- Janetos, A, Hansen, L., Inouye, D., Kelly, B.P., Meyerson, L., Peterson, B. y Shaw, R. 2008. Biodiversity. En: Walsh M. (Edt).The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington. Chapter 5. 362 p.
- Jiménez, D., Cock, J., Satizábal, H.F., Barreto, M.A., Perez, A., Jarvis, A. y Van Damme, P. 2009. Analysis of Andean blackberry (*Rubus glaucus*) production models obtained by means of artificial neural networks exploiting information collected by small-scale growers in Colombia and publicly available meteorological data. Computers and Electronics in Agriculture 69, 198–208.
- Jiménez, Y., Carranza, C. y Rodríguez, M. 2009. Manejo Integrado del Cultivo de la Gulupa (*Passiflora edulis* Sims), Libro de Resúmenes Cultivo, Poscosecha y comercialización de las Pasifloráceas en Colombia: Maracuyá, Granadilla, Gulupa y Curuba. 159-189.

- Kay, E. 2001. Observations on the pollination of *Passiflora penduliflora*. *Biotropica* 33: 709–713.
- Killip, E.P. 1938. The American species of *Passifloraceae*. *Publications of the Field Museum Natural History*, Chicago. Botany Series. 19 (1, 2): 1-163.
- Kirtikar K.R. & Basu, B.D. 1975. Indian Medicinal Plants. Periodical Experts, Dehradun, India, 1103 p.
- Kugler, E.E. & King L.A. 2004. A brief history of the Passionflower. 15-26 pp. In Ulmer T., and MacDougal J.M. (eds). *Passiflora: passionflowers of the word*. Timber Press Portland, Oregon. 430 p.
- Kuhne, F.A. 1968. Cultivation of granadillas. *Farming in South Africa* 43: 29 – 32.
- Lang, L., & Speed, V. 1990. A New Tool for GIS. *Computer Graphics World*, October, 41-48.
- Lee, A.E., & Heimsch, C. 1962. Development and structure of plants: a photographic study. Holt Rinehart and Winston, New York, NY. 64 p.
- Leiva, L.C., Peñaranda, E., Jiménez, A., Galindo, J. y Rivero, M. 2011. Manejo de problemas fitosanitarios del cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims.) Medidas para la temporada invernal. <http://www.ica.gov.co/getattachment/0d7e6c5e-f3d1-475e-b155-620fe03a8101/-nbs;Manejo-de-problemas-fitosanitarios-del-culti.aspx>
- Lima, A.A., & Borges, A.L. 2004 Exigencias edafoclimáticas, capítulo 2, maracujá, *Produção es qualidade na passicultura*, Embrapa, 39 – 43.
- Lima, A.A., Caldas, C.R. y Santos, S.V. 2006. Germinação e crescimento de espécies de maracujá. *Revista Brasileira Fruticultura*. 28(1) Jaboticabal Apr. 125-127.
- Liu, S., Yang, F., Li, J., Zhang, C., Ji, H. y Hong, P. 2008. Physical and chemical analysis of *Passiflora* seeds and seed oil from China. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 59: 706-715.
- Lobo, M. 2006. Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 7(2): 40-54.
- Lobo, M. y Medina, C.I. 2009. Recursos Genéticos de Pasifloráceas en Colombia. Libro de Resúmenes Cultivo, Poscosecha y comercialización de las Pasifloráceas en Colombia: Maracuyá, Granadilla, Gulupa y Curuba. 7-17.



- MacDougal, J.M. 1992. New species of *Passiflora* subg. *Plectostemma* (*Passifloraceae*). *Novon* 2(4): 358-367.
- MacDougal, J.M. 1994. Revision of *Passiflora* section *Decaloba*, *Pseudodysosmia* (*Passifloraceae*). *Systematic Botany Monographs* 14: 146 p.
- MacDougal, J.M. 2006. *Passiflora sandrae* (*Passifloraceae*), a new species from Panama. *Novon* 16: 85-88.
- Maciel, N., Bautista, D. y Aular, J. 1997. Growth and development of grenadille. I. Morphology during the first phases of the growth cycle. *Fruits* 52:11-17
- MADR, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2011. Consejo Regional de pasifloras, Región Occidente, 15 de Septiembre, Palmira, Valle.
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination. Aid in selection and evaluation of seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.
- Malagón, D., Pulido, C., Llinás, R. y Chamorro, C. 1995. Suelos de Colombia: Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. IGAC. Bogotá. 632 p.
- Manjkhola, S., Dhar, U. y Rawal, R.S. 2003. Treatments to improve seed germination of *Arnebia benthamii*: an endangered medicinal herb of high altitude Himalaya. *Seed Science and Technology*. (Suiza). 31: 571-577.
- Márquez, S.F. 1976. El problema de la interacción genético ambiental en genotecnia vegetal. Ed PATENA, A.C. Universidad Autónoma, Chapingo, México. 113p.
- Martin, F.W., & Nakasone, H.Y. 1970. The edible species of *Passiflora*. *Economic Botany* 24 (3): 333-343.
- Martín, I.M., 2001. Conservación de recursos Fitogenéticos, Segon curs de recerca i conservació de recursos genètics locals: conreus herbacis. Escola Agrària de Manresa. 1 – 9.
- Martínez, L.J., García, S.A., y Sanabria, R. 2009. Zonificación de las especies pasifloráceas comerciales en Colombia. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba, sociedad colombiana de Ciencias hortícolas. 19 - 44.
- Matur, P.N., Ramirez, V.J., Jarvis, A. 2012. The impacts of climate change on tropical and subtropical horticultural production, in *Tropical fruit tree species and climate change*. *Bioversity*. 27 - 44.

- Ministerio de agricultura ganadería, acuacultura y pesca del ecuador, Servicio de información agropecuaria del ministerio de agricultura y ganadería del ecuador, Proyecto SICA Banco Mundial. Granadilla.  
<http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/frutas/principal.htm>
- Miranda, D. 2009. Manejo integral del cultivo de la granadilla, *Passiflora ligularis* Juss. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba, sociedad colombiana de Ciencias hortícolas: 121 – 157.
- Miranda, D., & Carranza, C. 2010. Caracterización de los sistemas de producción de pasifloráceas en zonas productoras de Colombia. Memorias Primer Congreso Latinoamericano de Passiflora. CEPASS, ASOHOFRUCOL. 27 – 59.
- Morley-Bunker, M. 1999. Passionfruit. En Jackson, D.I y N.E. Looney (eds.) Temperature and subtropical fruit production. 2a ed. Cabi Publishing, Wallingford, UK. 252-255
- Morton, J.F. 1981. Atlas of Medicinal Plants of Middle America. Spring-field, IL, 1281 p.
- Nishida, T. 1958. Pollination of the passion fruit in Hawaii. Journal of Economic Entobotanic 51: 146–149.
- Nwosu, M.O. 1999. Herbs for mental disorders. Fitoterapia 70, 58–63.
- Ocampo J., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Olano C. y Schnell R. 2004. AFLP analysis for the study of genetic relationships among cultivated *Passiflora* species of the subgenera *Passiflora* and *Tacsonia*. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 47: 72-76.
- Ocampo, J. 2007. Study of the genetic diversity of genus *Passiflora* L. and its distribution in Colombia. Thesis Ph.D., Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques – SupAgro Montpellier (France). 268 p.
- Ocampo, J., Coppens, d'E.G., Restrepo, M., Jarvis, A., Salazar, M. y Caetano, C. 2007. Diversity of Colombian Passifloraceae: biogeography and an updated list for conservation. Biota Colombiana 8(1): 1- 45.
- Ocampo, J., Wyckhuys, K., Villegas, B., Mejía, J., Pulido, J., López, N., Fonseca, M., Salazar, M., Solano, R., Arroyave, J., y Duarte, O. 2009. Aprovechamiento de la diversidad del maracuyá amarillo (*P. edulis* f. *flavicarpa* Degener), la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims) y la granadilla (*P. ligularis* Juss.) para mejorar y diversificar los sistemas de producción en Colombia, I Informe Anual. 55 p.

- Ocampo, J. & Urrea, R. 2012. Recursos genéticos y mejoramiento de la Gulupa en: Tecnología para el cultivo de la Gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en Colombia, Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, República de Colombia, Bogotá, 68 p.
- Ocampo, J. & Wyckhuys, K. 2012. Editores. Tecnología para el cultivo de la Gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis* Sims) en Colombia, Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, República de Colombia, Bogotá, 68 p.
- Oga, S., Freitas, P.C., Gomes, S.A. y Hanada, S. 1984. Pharmacological trials of crude extract of *Passiflora alata*. *Planta Medicinales* 50(4): 303-306.
- Ospina, J.A., Guevara, C.L., Caicedo, L.E. y Barney, V. 2000. Effects of moisture content on *Passiflora* seed viability after immersion in liquid nitrogen. *JIRCAS International Agriculture Series* 8, 378-381.
- Pachón, A., Montañó, A. y Fischer, G. 2006. Efecto del empaque, encerado y temperatura sobre las características fisicoquímicas y organolépticas de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*) en postcosecha. pp. 72-78. En: Salamanca, G. (ed.). *Propiedades fisicoquímicas y sistemas de procesamiento: Productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario*. Editora Guadalupe, Bogotá. 350 p.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Reviews, Ecology, Evolution, and Systematics* pp. 37: 637–669.
- Passion fruit, 2010. Supply and demand. <http://www.passionfruitjuice.com>
- Pérez, L.V. & Melgarejo, L.M. 2012. Caracterización ecofisiología de la Gulupa (*Passiflora edulis* Sims) bajo tres condiciones ambientales en el departamento de Cundinamarca. En: Melgarejo, L.M (editora). *Ecofisiología del cultivo de la Gulupa (Passiflora edulis Sims)*. Universidad Nacional de Colombia. 11-32.
- Pérez, C.S. 2007. Atlas morfológico de semillas en especies del género *Passiflora* L. presentes en Venezuela, Caracas. Fundación Instituto Botánico de Venezuela. 48 p.
- Perry, D.A. 1981. Manual de métodos de ensayo de vigor. Ministerio de agricultura Pesca y Alimentación de España. Editado en español por Abascal J. 56 p.

- Perry, DA. 1980. El concepto de vigor de la semilla y su relevancia con respecto a las técnicas de producción de semilla. P.D. Hebblethwaite. Ed. Agropecuaria Hemisferio sur S.R.L. Traducción al español por Federico Stanham. Montevideo, Uruguay. 693 – 781.
- Peterson, A.T., Ortega, M.A., Bartley, Sánchez, C.J., Soberón, J., Buddemeier R.H. y Stockwell, D.R. 2002. Future projections form J. Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*: 416: 626-629.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. y Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions, *Ecological Modelling* 190: 231–259.
- Phillips, S.J., Dudík, M. y Schapire, R.E. 2004. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling, roceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning: 655-662.
- Pinto, M. A., Veiga, L. y Amorim, G. 2004. Capítulo 4. Melhoramiento genético en Maracujá: Producao e qualidade na passicultura, Embrapa.
- Pinzón, M., Fischer, G. y Corredor, G. 2007 Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Agronomía Colombiana* 25(1): 83-95.
- Primot, S., Coppens d'Eeckenbrugge, G., Rioux, V., Ocampo, J. y Garcin, F. 2005. Variación morfológica de tres especies de curubas (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*, *P. tarminiana* y *P. mixta*) y sus híbridos en el Valle del Cauca (Colombia). *Revista Brasileira de Fruticultura* 27(3): 467-471.
- Quintero, D. R., García, S.A., Cortés, L.A., Muñoz, A.F., Torres, J.S., Carbonell, G. J. y Osorio, C.A., 2008. Grupos homogéneos de suelos del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (segunda aproximación). Cali, Cenicaña (Serie Técnica No. 37). 112 p.
- Ramírez, J., Jarvis, A., Salazar, M. y Zapata, E. 2009. Documento de Discusión Nacional acerca de los Asuntos Claves en el Análisis del Sector Agricultura (Adaptación). Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1-15.
- Ramírez, J., Salazar, M., Jarvis, A. y Navarro, C. 2012. A way forward on adaptation to climate change in Colombian agriculture: perspectives towards 2050. *Journal Climate Change*. 18 p.
- Rao, N. K., Hanson, J., Dullo, M.E., Ghoh, K., Novell, D. y Larinde, M. 2007. Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para el manejo de bancos de germoplasma No. 8. Bioversity International, Roma, Italia. 165 p.

- Raven, P., H. 1975. The bases of angiosperm phylogeny: cytology. *Annals of Missouri Botanical Garden* 62: 734-764.
- Rêgo, M.M., Bruckner, C.H., Finger, F.L., Siqueira, D.L. y Fernandes, A.A. 1998. Selfincompatibility: evidence for two-locus genetic control in yellow passion fruit. *Theoretical and Applied Genetics* 98: 564–568.
- Rêgo, M. M., Rêgo, E.R., Bruckner, C.H., Da Silva, E.A.M., Finger, F.L. y Pereira, K.J.C. 2000. Pollen tube behavior in yellow passion fruit following compatible and incompatible crosses. *Theoretical and Applied Genetics* 101: 685–689.
- Ríos, G.G., Carrascal, M.R., Botero, M.O, Franco, G., Pérez, J.C., Morales, J.M., Gallego, J.D. y Echeverri, D.A., 2004. Zonificación, caracterización y tipificación de los sistemas de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam) en el Eje Cafetero. *Revista Corpoica* 5 (1): 22-30.
- Ríos, G.G., Forero, C.C., Zuluaga, L.A., Echeverri, D.A., Botera, M.O., Franco, G., Álvarez, R.Z. y García, J.L. 2006. Zonificación y Caracterización de Sistemas de Producción de Naranja Común (*Citrus Sinensis* Osbek) que Utilizan Criterios de BPA, en el Departamento de Cundinamarca. 7 p.
- Rivera, B., Miranda, D., Ávila, L.A., y Nieto, A.M. 2002. Manejo integral del cultivo de la granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). Primera Edición, Ed. Litoas, Manizales Colombia, 130 p.
- Roberts, E.H. 1973. Predicting the storage life of seeds. *Seed - Science and Technology* 1: 499-514.
- Rodríguez, L.F., Bermúdez, L.T. 2009. Economía y gestión del sistema de producción de pasifloráceas en Colombia, Libro de Resúmenes Cultivo, Poscosecha y comercialización de las Pasifloráceas en Colombia: Maracuyá, Granadilla, Gulupa y Curuba. 303-326.
- Salamanca, J., Varón, E., Santos, O. 2010. Cría y evaluación de la capacidad de depredación de *Chrysoperla externa* sobre *Neohydatothrips signifer*, trips: plaga del cultivo de maracuyá. *Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11(1): 31-40.
- Saldarriaga, L. 2001. Guía básica para el establecimiento y mantenimiento del cultivo de la granadilla (*Passiflora liguralis*). ASOHOFRUCOL, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola, Bogotá.

- São José, A.R. 1987. Influência do método de extração na qualidade fisiológica de sementes de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa*). Tese (Dissertação de Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de Botucatu, Botucatu. 87 p.
- Sazima, M. & Sazima, I. (1978) Bat pollination of the passion flower, *Passiflora mucronata*, in southeastern Brazil. *Biotropica* 10: 100-109.
- Scheldeman, X., Delanoy, M., Van Damme, P. y Beck, S., 2006. Use of Diva-Gis to Determine potential cultivation areas of bolivian passion fruits (*Passiflora* spp.). *Cartographie et SIG Jeunes en Géomatique ont la parole*. 102 – 115.
- Seaforth, C.E., Adams, C.D., Sylvester, Y. 1983. A Guide for the Medicinal Plants of Trinidad & Tobago. Commonwealth Secretariate, Marl-borough House, Pall Mall, London.
- Segura, S., G., Coppens, d'E.G., Bohorquez, A., Ollitrault, P., Tohme, J. 2002. An AFLP diversity study of the genus *Passiflora* focusing on subgenus *Tacsonia*. *Genetic Resources and Crop Evolution* 49(2): 111-123.
- Serna, V.J.; Chacón, A.C. 1985. El cultivo de maracuyá, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 32 p.
- Snow, A. (1982) Pollination intensity and potential seed set in *Passiflora vitifolia*. *Oecologia* 55: 231-237.
- Snow, N., & MacDougal J., M. 1993. New chromosome reports in *Passiflora* (Passifloraceae). *Systematic Botany* 18 (2): 261-273.
- Storey, W., B. 1950. Chromosome numbers of some species of *Passiflora* occurring in Hawaii. *Pacific Science* 4: 37-42
- Tamayo, P., J y Varón, F. 1996. Manejo de problemas patológicos en los cultivos de frijol y grandillas en el municipio de Urrao, Antioquia. *Boletín de Sanidad vegetal* No. 14. ICA, 4p.
- Tapia, M. 1996. Zonificación agroecológica basada en el uso de la tierra, el conocimiento local y las alternativas de producción. In: *Manejo Integral de Microcuencas*. PE. 53-66.
- Torres, A., M. 2007. Conservación *ex situ* de semillas de frutos jugosos. IV Congreso Colombiano de Botánica, Medellín, Colombia, 22-27.

- Tozzi, H., H., & Takaki, M. 2011. Histochemical analysis of seed reserve mobilization in *Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg. (yellow passion fruit) during germination. *Braz. J. Biol.* 71(3): 701-708.
- Tsiligirides, T., A. 2008. Remote sensing as a tool for agricultural statistics: a case study of area frame sampling methodology in Hellas. *Computers and Electronics in Agriculture* 20, 45-77.
- Ulmer, T., & MacDougal, J. 2004. *Passiflora*: Passionflowers on the World. 430 p.
- Uribe, L. 1955. Pasifloráceas y Begoniáceas de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada. Ediciones Cultura Hispánica. Madrid 26: 1-98.
- Vanderplank, J. 2000. *Passion Flowers*. 3 ed. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts. 224 p.
- Varassin, I.G., Trigo J.R., and Sazima M. 2001. The role of nectar production, flower pigments and odour in the pollination of four species of *Passiflora* (*Passifloraceae*) in south-eastern Brazil. *Botanical Journal of the Linnean Society* 136: 139–152.
- Vasconcellos, M. 1991. Biología floral do maracujá doce *Passiflora alata* Dryan nas condições de Botucatu-SP. Tesis Faculdade de Ciencias Agrarias.
- Vásquez, J.J.; Cárdenas, R.J.; Orozco, A.J. 2009. Manual sobre el cultivo del maracuyá (*passiflora edulis*) en Colombia. Palmira. Corpoica. 80 p.
- Villacís, L., Grum. M., and Coppens d'Eeckenbrugge G. 1998. Morphological characterization of Andean *Passifloras* (*Passiflora spp.*) from Ecuador. *Plant Genetic Resources Newsletter* 115: 51-55.
- Yockteng, R. 2003. Phylogénies: outils pour l'étude de l'histoire évolutive des organismes. L'exemple des pensées (genre *Viola* L.) et des passiflores (genre *Passiflora* L.). Université Paris XI – Orsay. Docteur en Sciences. 142 p.
- Yockteng, R. and Nadot S. 2004. Phylogenetic relationships among *Passiflora* species based on the glutamine synthetase nuclear gene expressed in chloroplast (ncpGS). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 31: 379-396.
- Yockteng, R.; Coppens d'Eeckenbrugge G.; Souza, C.T. 2011. Wild crop Relatives: Genomic and Breeding resources, Tropical and subtropical fruits, Chapter 7, *Passiflora*. 129-171.